

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Electrotécnica

Sistema Automático de Identificação e Caracterização de Zonas de Actividade em Imagens Solares

Por
Carlos Manuel Coutinho Moreira

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Electrotécnica e Computadores

Orientador: José Manuel Fonseca

Lisboa
2008

Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Doutor José Manuel da Fonseca pelos conhecimentos que transmitiu.
Aos meus colegas, família e amigos pelo apoio prestado.

Dedicatórias

Ao meu filho.

Sumário

O observatório Astronómico da Universidade de Coimbra tira fotografias do sol desde 1926. Começaram por serem espectroheliogramas em *Ca II K-line* (K1 e K3) e em 1990 começaram as observações regulares em *H-alpha*. Em 2002, começou o processo de digitalização das mais de 30000 imagens solares. A identificação de manchas solares é feita de modo manual. A metodologia é dependente do observador, que por si só não classifica a mesma informação da mesma maneira em momentos distintos. Pretende-se realizar uma aplicação que analise todas as imagens recolhidas, e já digitalizadas, da mesma forma, utilizando o mesmo método.

O objectivo da tese proposta é automatizar o processo de identificação das manchas solares e retirar mais informação de outras características não possíveis de obter até agora. Das imagens recolhidas apenas serão, nesta aplicação, analisadas as imagens K1 para a detecção de manchas solares. Utilizando a aplicação MATLAB foram aplicados alguns dos métodos de processamento digital de imagem para a análise das imagens. Foi testado um diferente método de identificação dos objectos solares. A separação entre os objectos solares e o fundo do Sol é realizada com base na segmentação por transformada de *Watershed*. A classificação dos objectos solares utiliza a combinação de características dos objectos solares para determinar o limiar de classificação. Os testes foram realizados num conjunto de amostras de imagens K1 fornecidas pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra. A validação dos resultados obtidos foi feita por comparação com os resultados obtidos pelo método actual. Adicionalmente podem ser comparáveis com outro *software* semelhante que possa existir.

Abstract

Since 1926 the Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra takes sun pictures. It started to be Ca II K-line (K1 and K3) spectroheliograms, and in 1990 began with regular observations in h-alpha. In 2002 they began to digitalize the more than 30000 solar images. The sunspots identification is manual. The method it depends of the observer, that itself does not classifies the same information in the same way in different moments. The objective is to develop an application that uses a unique method to classify all images already digitalized.

The proposed goal of this thesis is to achieve to an automatic sunspot identification process and to identify sunspot features and add others not analyzed before. From all images, this application only analyses sunspots of Ca II K-line images. Using MATLAB will be applied some digital image processing methods to make images analysis. A new identification method was applied to the solar objects. It was used the Watershed tranform to separate the solar objects from the sun background. The applied classification method use the solar objects features to find the classification threshold. The images set test are some Ca II K-line images taken from

Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra. *Matching with the actual method will make the results validation. As add-on it could be made a match with other similar software.*

Índice de Matérias

Sumário	3
<i>Abstract</i>	3
Índice de Matérias	5
Índice de Figuras	6
Índice de Quadros.....	8
Índice de Tabelas.....	9
1. Introdução.....	10
2. Informação Astronómica	17
3. Descrição da Aplicação	21
I. Pré Processamento	24
II. Segmentação	37
i. Segmentação por <i>threshold</i>	38
ii. Segmentação por detecção de contornos.....	39
ii. Segmentação por <i>watershed</i>	41
III. Processo de Equalização.....	45
IV. Classificação	49
4. Geração de Resultados	55
5. Análise de Resultados.....	62
I. Resultados Obtidos.....	62
II. Comparação com os Resultados da Classificação Manual	65
III. Comparação com a História dos Resultados.....	82
IV. Tempo de Computação.....	84
V. Simulações com 1000 Regiões Watershed	86
VI. Optimização do Código MATLAB.....	97
VII. Resultados da Equalização	98
6. Conclusões.....	100
7. Referências Bibliograficas.....	102

Índice de Figuras

FIGURA 1.1 – IMAGENS SOLARES DE DIVERSOS TIPOS E DIVERSAS FONTES: A) <i>Ca II K-LINE K1</i> , OBSERVATÓRIO ASTRONÓMICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA; B) <i>Ca II K-LINE K3</i> , OBSERVATÓRIO ASTRONÓMICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA K3; C) <i>H-ALPHA</i> , OBSERVATÓRIO ASTRONÓMICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA; D) <i>Ca II K-LINE K1</i> , OBSERVATÓRIO ASTRONÓMICO DE BRUXELAS; E) <i>MDI/SOI (MICHELSON DOPPLER IMAGER/SOLAR OSCILLATIONS INVESTIGATION)</i> ; F) <i>MDI/SOI CONTINUUM (MICHELSON DOPPLER IMAGER/SOLAR OSCILLATIONS INVESTIGATION)</i>	11
FIGURA 1.2 – IMAGENS SOLARES COM RECORTE DA REGIÃO DE INTERESSE DO SOHO	12
FIGURA 2.1 – RADIAÇÕES ABSORVIDAS PELA ATMOSFERA	17
FIGURA 2.2 – BIPOLARIDADE DAS MANCHAS SOLARES	18
FIGURA 2.3 – VARIAÇÃO DO NÚMERO DE MANCHAS SOLARES AO LONGO DOS ANOS	18
FIGURA 2.4 – CICLOS SOLARES 19 A 23	19
FIGURA 2.5 – NÚMERO DE MANCHAS SOLARES NO CICLO SOLAR 23	19
FIGURA 2.6 – LOCALIZAÇÃO DAS MANCHAS POR SOLARES CICLOS SOLARES	20
FIGURA 2.7 – VARIAÇÃO DO VALOR DA ÁREA EM MSH (<i>MILLIONTHS OF THE SOLAR HEMISPHERE</i>) DAS MANCHAS SOLARES DURANTE O CICLO SOLAR 23	20
FIGURA 3.1 – IMAGENS DISPONIBILIZADAS PELO OBSERVATÓRIO ASTRONÓMICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA: IMAGEM ORIGINAL COM MARCAS	21
FIGURA 3.2 – IMAGENS DISPONIBILIZADAS PELO OBSERVATÓRIO ASTRONÓMICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA: IMAGEM ORIGINAL SEM MARCAS	22
FIGURA 3.3 – FORMA DAS MANCHAS SOLARES: A) - OBSERVATÓRIO ASTRONÓMICO DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA, B)	23
FIGURA 3.4 – DIAGRAMA DE BLOCOS DA APLICAÇÃO	24
FIGURA 3.5 – ALGORITMO DE PRÉ PROCESSAMENTO	25
FIGURA 3.6 – INVERSÃO DA IMAGEM ORIGINAL: IMAGEM ORIGINAL COM MARCAS	26
FIGURA 3.7 – INVERSÃO DA IMAGEM ORIGINAL: IMAGEM ORIGINAL SEM MARCAS	26
FIGURA 3.8 – IMAGEM BINÁRIA: IMAGEM ORIGINAL COM MARCAS	27
FIGURA 3.9 – IMAGEM BINÁRIA: IMAGEM ORIGINAL SEM MARCAS	28
FIGURA 3.10 – HISTOGRAMAS DOS TONS DE CINZENTO: A) IMAGEM ORIGINAL COM MARCAS; B) IMAGEM ORIGINAL SEM MARCAS	29
FIGURA 3.11 – FECHO DA IMAGEM: IMAGEM ORIGINAL COM MARCAS	30
FIGURA 3.12 – FECHO DA IMAGEM: IMAGEM ORIGINAL SEM MARCAS	31
FIGURA 3.13 – IMAGEM REDIMENSIONADA: IMAGEM ORIGINAL COM MARCAS	32
FIGURA 3.14 – IMAGEM REDIMENSIONADA: IMAGEM ORIGINAL SEM MARCAS	33
FIGURA 3.15 – SEPARAÇÃO ENTRE SOL E MARCAS DE ORIENTAÇÃO	34
FIGURA 3.16 – EXEMPLO DE IMAGEM NÃO VÁLIDA PARA A APLICAÇÃO	36
FIGURA 3.17 – TIPOS DE INTERPOLAÇÕES	37
FIGURA 3.18 – EXEMPLO DE SEGMENTAÇÃO: A) IMAGEM ORIGINAL; B) IMAGEM BINÁRIA	38
FIGURA 3.19 – EXEMPLO DE SEGMENTAÇÃO: A) IMAGEM ORIGINAL; B) CLASSIFICAÇÃO COM <i>THRESHOLD</i> NO NÍVEL DE CINZENTO IGUAL A 50; C) CLASSIFICAÇÃO COM <i>THRESHOLD</i> NO NÍVEL DE CINZENTO IGUAL A 75 ..	38
FIGURA 3.20 – IMAGEM SEGMENTAÇÃO ATRAVÉS DA TRANSFORMADA DE <i>SOBEL</i> : IMAGEM ORIGINAL COM MARCAS	40
FIGURA 3.21 – IMAGEM SEGMENTAÇÃO ATRAVÉS DA TRANSFORMADA DE <i>SOBEL</i> : IMAGEM ORIGINAL SEM MARCAS	41
FIGURA 3.22 – ILUSTRAÇÃO TOPOGRÁFICA DA TRANSFORMADA DE <i>WATERSHED</i>	42
FIGURA 3.23 – REDUÇÃO DA SOBRE SEGMENTAÇÃO: A) IMAGEM ORIGINAL; B) IMAGEM SOBRE SEGMENTADA; E C) IMAGEM COM SEGMENTAÇÃO REDUZIDA	43
FIGURA 3.24 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA FUNÇÃO <i>WATERSHED</i> : A) VERSÃO MATLAB 6.5.0.1; B) VERSÃO MATLAB R2007A	45
FIGURA 3.25 – REPRESENTAÇÃO DA FUNÇÃO DE EQUALIZAÇÃO	47
FIGURA 3.26 – EFEITO DA EQUALIZAÇÃO NO HISTOGRAMA DA IMAGEM A CLASSIFICAR: A) ANTES DA EQUALIZAÇÃO; B) APÓS A EQUALIZAÇÃO	48
FIGURA 3.27 – ZOOM DOS HISTOGRAMAS DA FIGURA 3.26	49
FIGURA 3.28 – ALGORITMO DA FASE I DA CLASSIFICAÇÃO	52
FIGURA 3.29 – EFEITO DA ESFERICIDADE DO SOL NUMA IMAGEM	53
FIGURA 3.30 – ALGORITMO DA FASE II DA CLASSIFICAÇÃO	54
FIGURA 3.31 – IMAGENS RESULTANTES DA APLICAÇÃO PARA IMAGEM ORIGINAL COM MARCAS: IMAGEM RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO	55
FIGURA 3.32 – IMAGENS RESULTANTES DA APLICAÇÃO PARA IMAGEM ORIGINAL COM MARCAS: IMAGEM COM AS MANCHAS SOLARES REPRESENTADAS PELOS SEUS CENTROIDES E CONTORNOS	56

FIGURA 3.33 – IMAGENS RESULTANTES DA APLICAÇÃO PARA IMAGEM ORIGINAL COM MARCAS: IMAGEM COM MANCHAS SOLARES REPRESENTADAS COM COR SOBRE A IMAGEM ORIGINAL	57
FIGURA 3.34 – IMAGENS RESULTANTES DA APLICAÇÃO PARA IMAGEM ORIGINAL SEM MARCAS: IMAGEM RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO	58
FIGURA 3.35 – IMAGENS RESULTANTES DA APLICAÇÃO PARA IMAGEM ORIGINAL SEM MARCAS: IMAGEM COM AS MANCHAS SOLARES REPRESENTADAS PELOS SEUS CENTROIDES E CONTORNOS	59
FIGURA 3.36 – IMAGENS RESULTANTES DA APLICAÇÃO PARA IMAGEM ORIGINAL SEM MARCAS: IMAGEM COM MANCHAS SOLARES REPRESENTADAS COM COR SOBRE A IMAGEM ORIGINAL	60
FIGURA 3.37 – FORMATO DO FICHEIRO DE TEXTO GERADO	61
FIGURA 4.1 – IMAGENS RESULTANTES DA APLICAÇÃO: k1v_03_02_01_11h_49_soo.jpg	63
FIGURA 4.2 – IMAGENS RESULTANTES DA APLICAÇÃO: k1v_03_02_94_11h_39_soo.jpg	64
FIGURA 4.3 – IMAGENS RESULTANTES DA APLICAÇÃO: k1v_07_01_01_11h_33_soo.jpg	65
FIGURA 4.4 – IMAGEM k1v_03_11_00_09h_55.tif CLASSIFICADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO: AUTOMÁTICA	67
FIGURA 4.5 – IMAGEM k1v_03_11_00_09h_55.tif CLASSIFICADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO: MANUAL POR UM UTILIZADOR ESPECIALISTA	68
FIGURA 4.6 – IMAGEM k1v_03_11_00_09h_55.tif CLASSIFICADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO: MANUAL POR UM UTILIZADOR NÃO ESPECIALISTA	69
FIGURA 4.7 – IMAGEM k1v_09_11_01_10h_25.tif CLASSIFICADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO: AUTOMÁTICA	70
FIGURA 4.8 – IMAGEM k1v_09_11_01_10h_25.tif CLASSIFICADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO: MANUAL POR UM UTILIZADOR ESPECIALISTA	71
FIGURA 4.9 – IMAGEM k1v_09_11_01_10h_25.tif CLASSIFICADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO: MANUAL POR UM UTILIZADOR NÃO ESPECIALISTA	72
FIGURA 4.10 – IMAGEM k1v_10_12_99_10h_16.tif CLASSIFICADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO: AUTOMÁTICA	73
FIGURA 4.11 – IMAGEM k1v_10_12_99_10h_16.tif CLASSIFICADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO: MANUAL POR UM UTILIZADOR ESPECIALISTA	74
FIGURA 4.12 – IMAGEM k1v_10_12_99_10h_16.tif CLASSIFICADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO: MANUAL POR UM UTILIZADOR NÃO ESPECIALISTA	75
FIGURA 4.13 – IMAGEM k1v_20_12_99_14h_32.tif CLASSIFICADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO: AUTOMÁTICA	76
FIGURA 4.14 – IMAGEM k1v_20_12_99_14h_32.tif CLASSIFICADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO: MANUAL POR UM UTILIZADOR ESPECIALISTA	77
FIGURA 4.15 – IMAGEM k1v_20_12_99_14h_32.tif CLASSIFICADA PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO: MANUAL POR UM UTILIZADOR NÃO ESPECIALISTA	78
FIGURA 4.16 – IMAGENS COM MAIOR ERRO: k1v_06_10_83_14h_36_E_C	80
FIGURA 4.17 – IMAGENS COM MAIOR ERRO: k1v_09_11_01_10h_25	81
FIGURA 4.18 – RELAÇÃO ENTRE NÚMERO DE MANCHAS SOLARES E ÁREA	82
FIGURA 4.19 – VARIAÇÃO TEMPORAL DO NÚMERO DE MANCHAS SOLARES. B) DETALHE CICLO SOLAR 23; C) DETALHE DO CICLO SOLAR 21	83
FIGURA 4.20 – RELAÇÃO TEMPO DE COMPUTAÇÃO COM ÁREA DAS MANCHAS SOLARES	86
FIGURA 4.21 – TEMPO DE COMPUTAÇÃO DAS FASES DA APLICAÇÃO	88
FIGURA 4.22 – COMPARAÇÃO DA IMAGEM RESULTANTE DA APLICAÇÃO k1v_03_11_00_09h_55_soo.jpg: ANÁLISE DE 1000 REGIÕES <i>WATERSHED</i>	89
FIGURA 4.23 – COMPARAÇÃO DA IMAGEM RESULTANTE DA APLICAÇÃO k1v_03_11_00_09h_55_soo.jpg: ANÁLISE DE 300 REGIÕES <i>WATERSHED</i>	90
FIGURA 4.24 – COMPARAÇÃO DA IMAGEM RESULTANTE DA APLICAÇÃO k1v_10_12_99_10h_16_soo.jpg: ANÁLISE DE 1000 REGIÕES <i>WATERSHED</i>	91
FIGURA 4.25 – COMPARAÇÃO DA IMAGEM RESULTANTE DA APLICAÇÃO k1v_10_12_99_10h_16_soo.jpg: ANÁLISE DE 300 REGIÕES <i>WATERSHED</i>	92
FIGURA 4.26 – COMPARAÇÃO DA IMAGEM RESULTANTE DA APLICAÇÃO k1v_20_12_99_14h_32_soo.jpg: ANÁLISE DE 1000 REGIÕES <i>WATERSHED</i>	93
FIGURA 4.27 – COMPARAÇÃO DA IMAGEM RESULTANTE DA APLICAÇÃO k1v_20_12_99_14h_32_soo.jpg: ANÁLISE DE 300 REGIÕES <i>WATERSHED</i>	94
FIGURA 4.28 – GRÁFICOS FACTOR DE DECISÃO DA APLICAÇÃO: ANÁLISE DE 1000 REGIÕES <i>WATERSHED</i>	95
FIGURA 4.29 – GRÁFICOS FACTOR DE DECISÃO DA APLICAÇÃO: ANÁLISE DE 300 REGIÕES <i>WATERSHED</i>	96

Índice de Quadros

QUADRO 3.1 – EXPRESSÃO GENÉRICA DA TRANSFORMADA DE <i>HOUGH</i>	35
QUADRO 3.2 – TRANSFORMADAS GEOMÉTRICAS UTILIZADAS	36
QUADRO 3.3 – EXPRESSÃO MATEMÁTICA PARA A SEGMENTAÇÃO	37
QUADRO 3.4 – DEFINIÇÃO GENÉRICA DE <i>THRESHOLD</i>	39
QUADRO 3.5 – EXEMPLO DE MATRIZES PARA CÁLCULO DE GRADIENTE DE <i>SOBEL</i>	39
QUADRO 3.6 – CÁLCULO DO GRADIENTE DE <i>SOBEL</i>	40
QUADRO 3.7 – FUNÇÃO DE EQUALIZAÇÃO APLICADA	47
QUADRO 3.8 – EXPRESSÃO PARA O CÁLCULO DA ÁREA DAS REGIÕES.....	50
QUADRO 3.9 – EXPRESSÃO PARA O CÁLCULO DOS CENTRÓIDES DAS REGIÕES.....	50
QUADRO 3.10 – ÁREA EM MILLIONTHS DO HEMISFÉRIO VISÍVEL DO SOL.....	53
QUADRO 4.1 – OPTIMIZAÇÃO DE CÓDIGO MATLAB - VECTORIZAÇÃO	97
QUADRO 4.2 – OPTIMIZAÇÃO DE CÓDIGO MATLAB – ALOCAÇÃO DE VARIÁVEIS	97

Índice de Tabelas

TABELA 4.1 – RESULTADOS OBTIDOS NO CONJUNTO DE IMAGENS ANALISADAS	62
TABELA 4.2 – NÚMERO DE MANCHAS SOLARES PELOS DIVERSOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO	66
TABELA 4.3 – NÚMERO DE MANCHAS SOLARES PELO MÉTODO MANUAL E PELA APLICAÇÃO	79
TABELA 4.4 – TEMPO DE COMPUTAÇÃO DA APLICAÇÃO	84
TABELA 4.5 – TEMPO DE COMPUTAÇÃO DAS DIVERSAS FASES DA APLICAÇÃO	85
TABELA 4.6 – TEMPO DE COMPUTAÇÃO DA APLICAÇÃO	86
TABELA 4.7 – TEMPO DE COMPUTAÇÃO DAS DIVERSAS FASES DA APLICAÇÃO PARA 1000 REGIÕES WATERSHED	87
TABELA 4.8 – TEMPO MÉDIO DE COMPUTAÇÃO DAS DIVERSAS FASES DA APLICAÇÃO PARA 300 OU 1000 REGIÕES WATERSHED	87
TABELA 4.9 – TEMPO DE COMPUTAÇÃO DE TODAS AS REGIÕES WATERSHED	96
TABELA 4.10 – RELAÇÃO ENTRE EQUALIZAÇÃO E NÚMERO DE REGIÕES WATERSHED	98

1. Introdução

O trabalho realizado é uma aplicação cujo objectivo é extrair características de objectos solares em imagens *Ca II K-line* fornecidas pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra. O trabalho procura ser inovador e disponibilizar uma ferramenta útil ao estudo da astronomia. A procura da inovação passa por introduzir um novo conceito em relação às aplicações já existentes. A utilidade passa por ir ao encontro de uma necessidade do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra para o estudo da astronomia. O observatório tem em arquivo cerca de 30.000 imagens solares que recolhe desde 1926. Ao longo dos anos várias pessoas estudaram e classificaram as imagens entretanto recolhidas. Existe a necessidade de validar os estudos e contagens já efectuados, do número de manchas solares, bem como tornar independente do classificador essa classificação.

As aplicações existentes para o processamento digital de imagens solares têm duas fontes: os telescópios montados em satélites, como o SOHO [1], e os observatórios terrestres, como o Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra. Até um passado relativamente recente, eram obtidas exclusivamente nos observatórios astronómicos terrestres. Só nos últimos 20 anos, com o lançamento de telescópios montados em satélites, se começaram a obter imagens solares do exterior da Terra.

As imagens obtidas das duas fontes têm características diferentes. As imagens terrestres são obtidas, muitas delas, por sistemas mais antigos de menor definição, mais lentos, de menor capacidade de armazenamento, de maior interferência (atmosférica) e ainda necessitando de intervenção humana. Por outro lado, os sistemas implementados nos telescópios montados em satélites são totalmente digitais e permitem a recolha de imagens quase de modo contínuo.

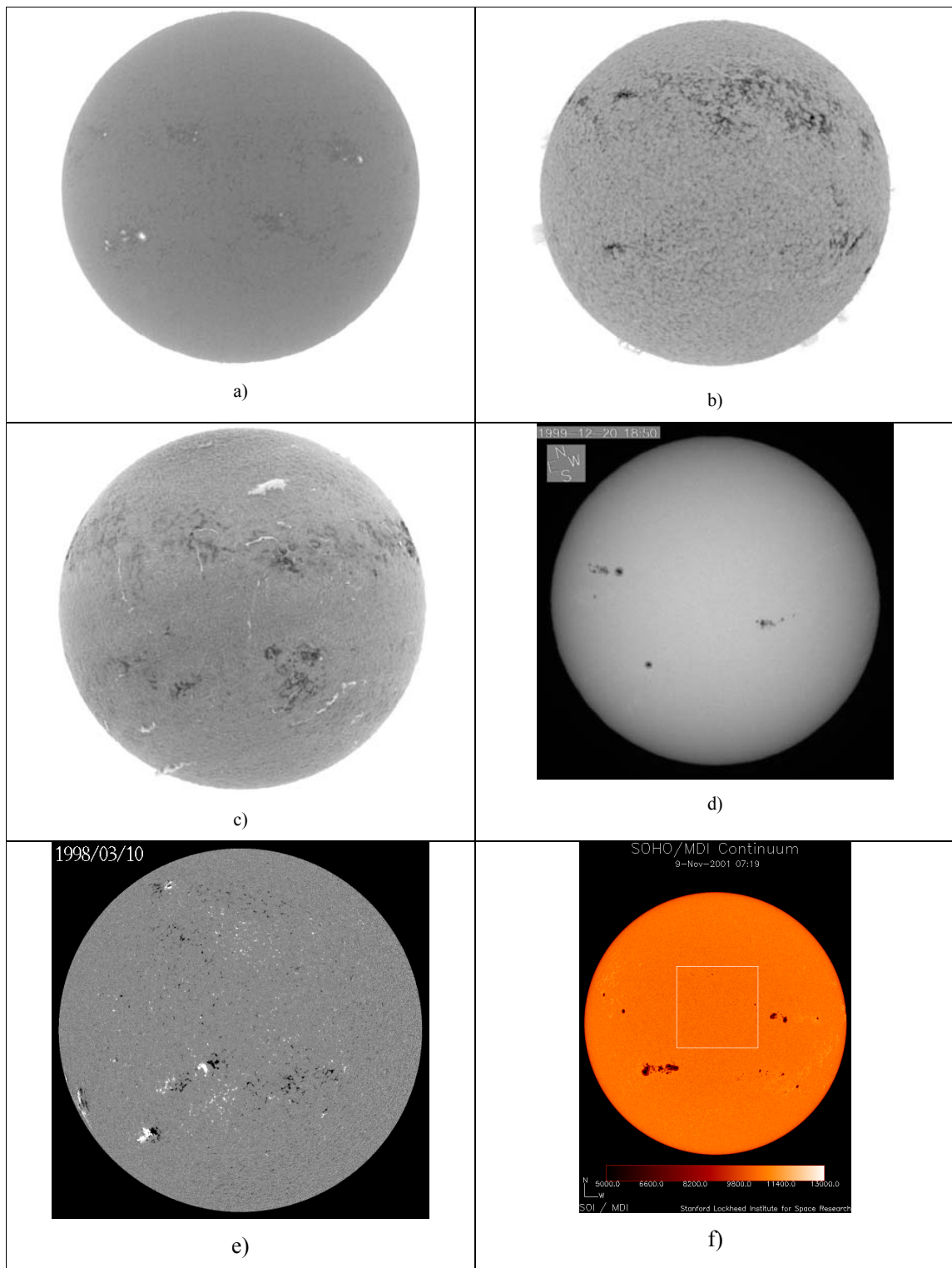


Figura 1.1 – Imagens Solares de Diversos Tipos e Diversas Fontes: a) *Ca II K-line K1*, Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra; b) *Ca II K-line K3*, Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra K3; c) *H-alpha*, Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra; d) *Ca II K-line K1*, Observatório Astronómico de Bruxelas; e) *MDI/SOI* (*Michelson Doppler Imager/Solar Oscillations Investigation*) [1]; f) *MDI/SOI Continuum* (*Michelson Doppler Imager/Solar Oscillations Investigation*) [1]

Existe uma variedade de imagens possíveis de obter consoante o tipo de radiação a reter, bem como o processo de recolha da imagem. Por exemplo, o SOHO integra 12 tipos de instrumentos de recolha de imagens: **CDS** (*Coronal Diagnostic Spectrometer*), **CELIAS** (*Charge, Element, and Isotope Analysis System*), **COSTEP** (*Comprehensive Suprathermal and Energetic Particle Analyzer*), **EIT** (*Extreme ultraviolet Imaging Telescope*), **ERNE** (*Energetic and Relativistic Nuclei and Electron experiment*), **GOLF** (*Global Oscillations at Low Frequencies*), **LASCO** (*Large Angle and Spectrometric Coronagraph*), **MDI/SOI** (*Michelson Doppler Imager/Solar Oscillations Investigation*), **SUMER** (*Solar Ultraviolet Measurements of Emitted Radiation*), **SWAN** (*Solar Wind Anisotropies*), **UVCS** (*Ultraviolet Coronagraph Spectrometer*) e **VIRGO** (*Variability of Solar Irradiance and Gravity Oscillations*).

Os métodos de extracção de características a partir de imagens solares depende do tipo de imagem recolhida e do local de onde são obtidas. As aplicações com base em toda a imagem do Sol, na língua inglesa denominadas como *full-disk images*, têm maior desenvolvimento em observações terrestres. As aplicações com base em recortes da imagem têm maior desenvolvimento em observações orbitais. Este último tipo de aplicações requer imagens com melhor resolução, intervenção na selecção do segmento a analisar e pressupõe um conhecimento ou sensibilidade para a identificação de objectos solares. Por outro lado, são aplicações com maior imunidade a alguns problemas com que se deparam as aplicações que analisam toda a imagem do Sol. Não se colocam problemas, por exemplo, como a eliminação do fundo da imagem ou a variação da intensidade luminosa do centro para a periferia. É também mais simples aplicar equalizações ou filtros a partes da imagem do que ao total da imagem, porque eventualmente já se estará a analisar apenas a região de interesse.

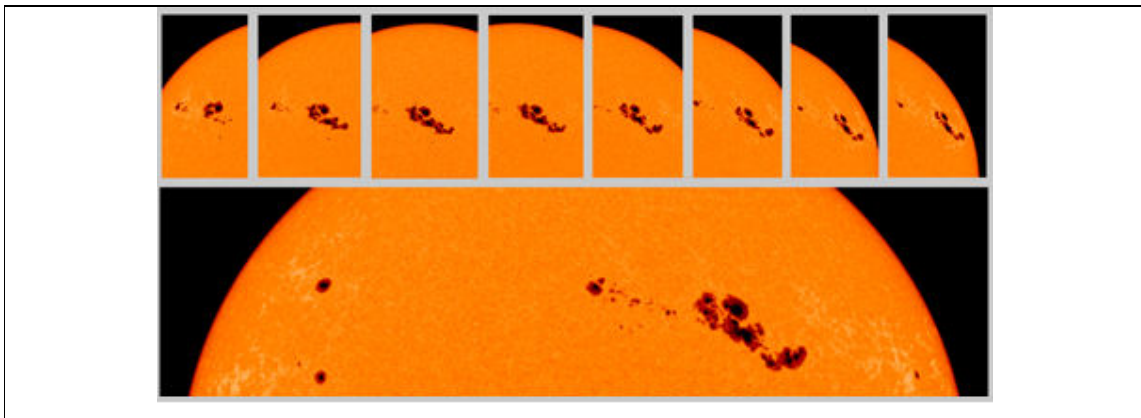


Figura 1.2 – Imagens Solares com Recorte da Região de Interesse do SOHO [1]

A aplicação que se apresenta nesta tese tem como base uma imagem na sua totalidade. Por esse motivo, a atenção no desenvolvimento da aplicação centrar-se-á não só na análise da imagem, mas também no reconhecimento dos objectos. O objectivo é tornar ambos os processos automáticos.

Com o objectivo de avaliar o desenvolvimento nesta área para este tipo de aplicações, a pesquisa efectuada revelou diversas perspectivas na abordagem a este problema. As ferramentas, e algoritmos propostos, existentes também se podem dividir pela mesma classificação atribuída ao tipo de imagem analisada: as que trabalham com a totalidade da imagem; e as que utilizam apenas parte da imagem para analisar. As ferramentas que utilizam apenas parte da imagem requerem intervenção de um utilizador, enquanto as ferramentas que utilizam a totalidade da imagem poderão, ou não, ser independentes face à intervenção de um utilizador. Em relação ao objectivo das ferramentas existe um vasto leque de ofertas. As mais comuns estão orientadas para a contagem e caracterização de manchas solares. A caracterização das manchas solares é feita com base na sua área, localização, frequência e intensidade, por exemplo. Há também outras ferramentas que são utilizadas para estudar outros tipos de objectos solares, como sejam os filamentos. Foram analisados outro tipo de objectos solares com o objectivo de verificar que técnicas e métodos eram utilizados no seu estudo, e que pudessem ser úteis no desenvolvimento da aplicação pretendida.

Há alguns estudos sobre aplicações que têm como objectivo estudar outro tipo de características solares. *Dorotovic e Jounoud* [2] apresentaram, para o mesmo tipo e a mesma fonte de imagens, uma aplicação que estuda a assimetria entre o número de manchas a Norte e a Sul do equador solar. *Mező* [3] apresentou um estudo sobre a assimetria entre as manchas a Este e a Oeste. *Qu* [4], utilizando imagens *H-alpha*, apresentou um estudo sobre a detecção automática de *flares* (tempestade magnética na superfície do Sol que surge como um repentino aumento de brilho na superfície). Igualmente *Steinmegger* [5] fez um estudo sobre a verificação automática de actividade solar, nomeadamente de *flares*, recorrendo a redes neuronais e à segmentação da imagem. O método de segmentação da imagem demonstrou-se útil no reconhecimento de objectos com forma complexa.

Há aplicações que fazem reconhecimento de objectos com base em comparações com padrões [6], por exemplo, círculos ou rectângulos, mas não são aplicáveis a este tipo de aplicação porque as manchas solares não têm uma forma regular.

O método que se encontra mais vezes associado à detecção de objectos solares é o de *threshold*. Este método utiliza um nível de cinzento como limiar de decisão entre dois valores [7,8]. As imagens obtidas em observatórios terrestres são mais sensíveis a simples métodos de *threshold* devido ao considerável ruído atmosférico, ou problemas no próprio telescópio, que pode ter dificuldades de focagem ou sujidade. Outra razão para evitar métodos de *threshold* prende-se com o facto de as imagens possuírem uma variação da luminosidade que nada tem a ver com as características dos objectos observados. Essa variação torna difícil definir um *threshold* que se adequa a estas imagens, pois um *threshold* pode identificar manchas no Sol, sem elas existirem, ignorando manchas presentes no centro do Sol, ou, por outro lado, um outro *threshold* pode identificar as manchas presentes no centro e ignorar as que existam na periferia.

Györi, Baranji, Turmon e Pop publicaram um artigo em que fazem a comparação entre duas ferramentas de análise de características solares. Nesse trabalho [9] comparam especificamente os valores de área obtidos através da ferramenta SAM (*Sunspot Automatic Measurement*), que analisa imagens do observatório terrestre em *Gyula* – Hungria, e a ferramenta STARTOL, que analisa imagens do SOHO. Em relação à ferramenta SAM, nas imagens de luz branca do observatório de *Gyula* são marcados os contornos das manchas solares para calcular a sua área. Além dessa intervenção de um utilizador há também a selecção manual da região de interesse. Na ferramenta STARTOL, às imagens MDI é aplicado um identificador a cada pixel segundo um método estatístico para determinar se esse pixel é filamento, mancha solar ou magnetosfera (superfície sem actividade) do Sol.

Foi constatada a diferença de resultados entre as duas ferramentas, embora seja atribuída à diferença existente entre a imagem de luz branca de *Gyula* e a imagem MDI do SOHO.

Há outra publicação de *Turmon* [10] que faz referência a um método de identificação de características solares com base em *Markov Random Fields*. As imagens, *Ca II K-line full-disk* espectroheliogramas, são do *Sacramento Peak National Solar Observatory*. O objectivo neste caso é apresentar um método diferente de segmentar os objectos baseado em métodos estatísticos das redes de *Markov*.

Um outro método de segmentação de imagens é proposto por *Hojjatoleslami e Kittler* [11]. A identificação das regiões da imagem é realizada pela agregação dos pixéis entre si, quando as características dos pixéis assim o permitam. É mais indicado para definir o tipo e a direcção de crescimento do objecto.

A análise dos objectos solares é feita em recortes da imagem, o que melhora a definição da área da mancha solar; no entanto, a definição das zonas de interesse, para fazer recortes, é um processo manual.

Em 2003, *Curto* [12] publicou um trabalho sobre a detecção automática de manchas solares, e grupos de manchas solares, em imagens de luz branca recolhidas no Observatório del Ebro. Esse trabalho referencia alguns dos problemas na recolha de imagens, como sejam a sujidade das lentes, a desfocagem e problemas de leitura da imagem. O processo de detecção das manchas solares passa por um pré processamento para eliminar ruído da imagem, a utilização da transformada *Top-Hat*, para extrair parcialmente as manchas solares, e a aplicação de *threshold* definido de um nível de cinzento. Esse nível é determinado pela relação entre os níveis de cinzento das manchas solares e a fotosfera. Uma característica deste trabalho é a identificação de grupos de manchas solares, determinados a partir da distância relativa entre elas. Outra característica importante é o processo de pesquisa proposto contemplar apenas a existência de 100 manchas solares.

A maior parte das aplicações encontradas nesta área de desenvolvimento são da autoria de *Zharkov, Zharkova, Ipson e Benkhalil* [13,14]. Os estudos têm como base imagens de luz branca do SOHO. Os algoritmos propostos nesses vários estudos seguem uma linha semelhante. Utilizam a transformada de *Sobel*, para determinar as fronteiras entre a fotosfera e a penumbra da mancha solar, filtragem, para reduzir o ruído, e *threshold* para classificar os pixels como fotosfera ou mancha solar. O processo de identificação das manchas solares é em todos os casos automático. A diferença que existe entre os diversos estudos apresentados é basicamente como se define o nível de *threshold* a aplicar na classificação.

Para desenvolver um sistema de detecção de objectos solares, é necessário escolher um *software* de desenvolvimento. Existem algumas linguagens de desenvolvimento como o *C/C++*, *Visual Basic*, *Java* e o *Delphi*, que podem ser utilizadas no desenvolvimento. Todas elas possuem um ambiente de desenvolvimento de alto nível e com grande capacidade de processamento de inúmeros algoritmos básicos. No entanto, estas linguagens não possuem nenhuma ferramenta específica para o cálculo de algoritmos com grande complexidade, como por exemplo a transformada *watershed* (usada na segmentação de imagem), e surge a necessidade de desenvolver esses algoritmos, por exemplo, em *C/C++*. No decorrer do desenvolvimento deste trabalho, a Sun Microsystems lançou para a linguagem de programação em *Java* uma API (*Application Programming Interface*) que permite algumas operações em processamento digital de imagem, a JAI (*Java Advanced Imaging*). Além dessa facilidade, a programação em *Java* é uma programação orientada a objectos, o que lhe confere robustez, rentabilização, facilita a expansão da aplicação e permite a sua integração noutras aplicações.

A ferramenta de desenvolvimento escolhida para realizar a aplicação é o MATLAB [15, 16]. Desde a sua primeira versão (1984), o MATLAB é tido como produto líder na área de computação numérica e científica. Mais que um *software* de desenvolvimento de programas, o MATLAB é um ambiente integrado de modelação de sistemas e algoritmos, ideal para implementação de projectos complexos, e por esta razão vem sendo adoptado como ferramenta de desenvolvimento. O MATLAB tem uma linguagem proprietária e disponibiliza um conjunto de funções dedicadas a diversas áreas de desenvolvimento, como sejam o processamento de sinais, redes neuronais, estatística, análise financeira e processamento digital de imagem, entre outras. Tem desenvolvido mais de 500 funções pré definidas para as diversas áreas de desenvolvimento. As versões mais recentes permitem a integração com programas noutras linguagens de desenvolvimento como o *C/C++*, *Java* e *Fortran*, o que confere a possibilidade de desenvolvimento de GUI (*Graphical User Interface*) mais elaboradas e apelativas. A utilização das livrarias do processamento digital de imagem foca este trabalho no desenvolvimento do algoritmo da aplicação para a detecção de objectos solares.

Após a introdução da problemática que rodeia o desenvolvimento desta aplicação, em termos funcionais, bem como da apresentação de alguns dos métodos já estudados por diversos

investigadores, são apresentadas algumas noções de astronomia analisadas para o desenho do algoritmo. O capítulo seguinte apresenta a descrição da aplicação. Está organizado em sub capítulos de acordo com os principais blocos do algoritmo: primeiro, o pré processamento; segundo, a segmentação; depois, a classificação; e, por fim, a geração dos resultados. Em cada um se faz uma descrição dos princípios utilizados no campo da astronomia e do processamento digital de imagem, para atingir os objectivos de cada bloco.

A seguir à descrição da aplicação está o capítulo da análise de resultados, onde se apresentam os resultados obtidos. Para validar os resultados fazem-se uma série de analogias com outros resultados, obtidos por meios diferentes, como sejam os métodos manuais e as tabelas das organizações mundiais que fazem contagens das características solares.

Por fim, em complemento às conclusões da tese, estão uma série de sugestões para trabalho futuro que poderá validar alguns dos resultados atingidos, bem como projectar a utilização da aplicação para outros domínios.

2. Informação Astronómica

A criação desta ferramenta, e de outras semelhantes a esta, reveste-se de especial interesse para o estudo do Sol e da sua interferência na vivência actual na Terra. A ferramenta a criar permitirá fazer vários estudos e comprovar outros efectuados. O excesso de radiação solar é capaz de incapacitar os satélites, interromper comunicações terrestres, causar apagões ou mesmo a morte de astronautas no espaço.

Nem todas as radiações que chegam à Terra podem ser detectadas pelos instrumentos disponíveis. Grande parte das radiações com mais energia (gama, raio-X e ultravioleta) e das radiações com menos energia (infravermelhos, microondas e ondas rádio) é absorvida ou reflectida pela atmosfera. À Terra só chegam a luz visível, uma parte reduzida de ultra violetas, de infravermelhos (calor) e ondas de rádio [17]. Daí a importância do funcionamento do satélite SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*), que desde 1996 recolhe outros tipos de radiações que não é possível recolher nos telescópios terrestres.

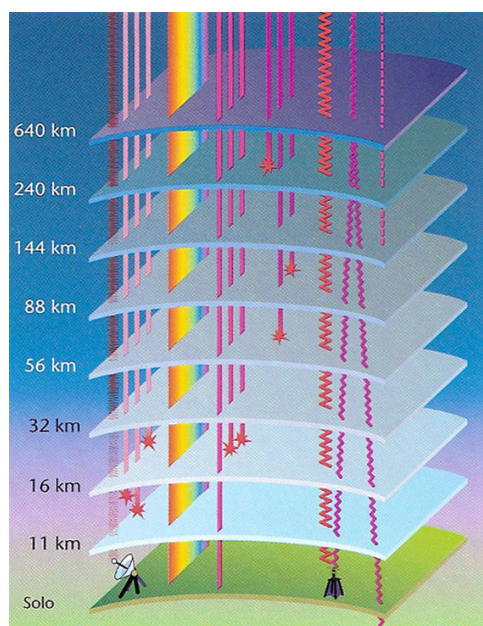


Figura 2.1 – Radiações Absorvidas pela Atmosfera [17]

Apesar da sua protecção, o impacto de uma erupção solar (*flare*), ou das ejeções de massa coronal (CME), distorce a magnetoesfera. Ambos os fenómenos são erupções solares, mas que ocorrem com frequência, de forma diferente, e que afectam a Terra de forma diferente. No entanto, e na actualidade, a radiação solar é o único meio para obter informação sobre o Sol.

Os pormenores mais pequenos visíveis a partir da Terra têm 150Km [18]. As manchas solares são representadas nas imagens *Ca II K-line K1*, as imagens em que se centra este estudo, por uma área vista como uma mancha clara na fotosfera do Sol. Parecem escuras porque são mais frias do que a fotosfera circundante. Uma mancha solar é aproximadamente 1500° Celsius mais fria do que o material ao seu redor, com 4500° Celsius. As manchas solares são concentrações de fluxo magnético, tipicamente ocorrendo em grupos bipolares. Surgem nos locais onde os feixes de linhas do campo magnético atravessam a fotosfera [19].

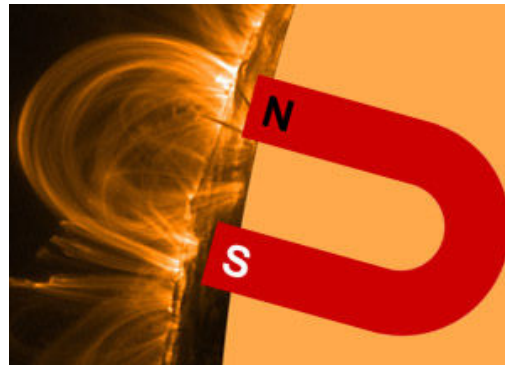


Figura 2.2 – Bipolaridade das Manchas Solares [22]

O estudo dos fenómenos da fotosfera do Sol já se faz aproximadamente há 400 anos, altura em que se começou a fazer registo dos únicos objectos solares visíveis na época. A recolha dessa informação permitiu descobrir que a ocorrência das manchas solares se faz em ciclos de 7 a 15 anos, numa média de 11 anos. O ciclo solar, também conhecido como ciclo solar de Schwabe, representa a variação da actividade solar [20].

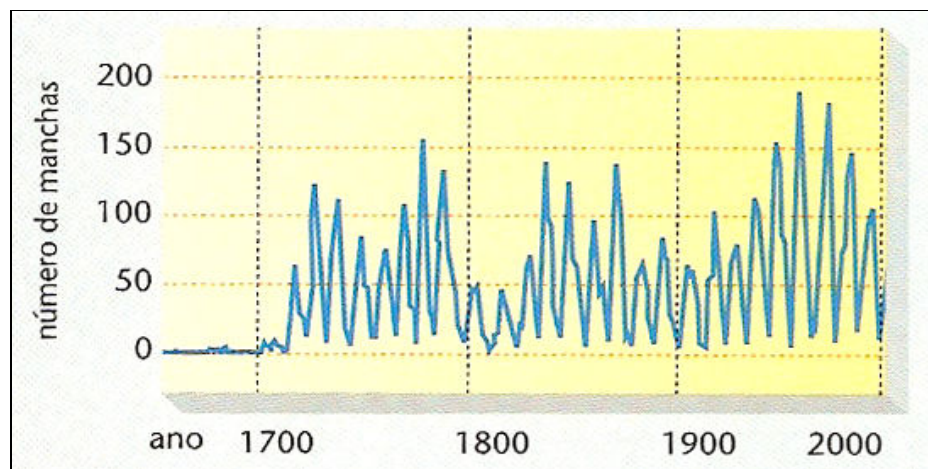


Figura 2.3 – Variação do Número de Manchas Solares ao Longo dos Anos [18]

Para melhor entendimento, foi atribuída uma identificação aos ciclos solares [20]. À data actual, a actividade solar encontra-se entre dois ciclos (isto porque a data de início e fim de um ciclo nunca é concensual) entre o fim do ciclo 23 e o início do ciclo 24.

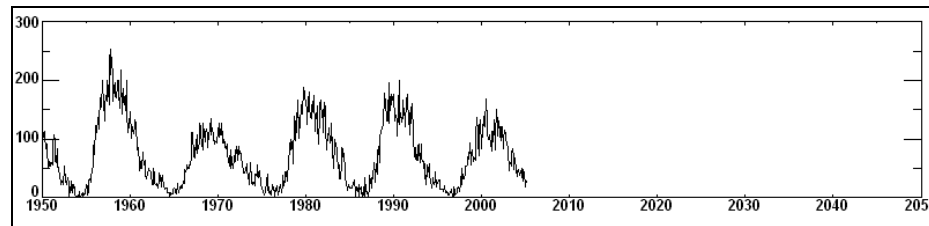


Figura 2.4 – Ciclos Solares 19 a 23 [40]

Nas figuras 2.4 e 2.5 pode-se ver que ao longo de um ciclo solar há variações na actividade solar. O gráfico da figura 2.3 ilustra a variação do valor médio do número de manchas solares. Os ciclos solares têm picos de actividade que nunca ultrapassaram as 250 manchas solares visíveis. Este número de manchas não é número de objectos solares identificados numa imagem solar, mas o número de *Wolf* [21] de manchas solares.

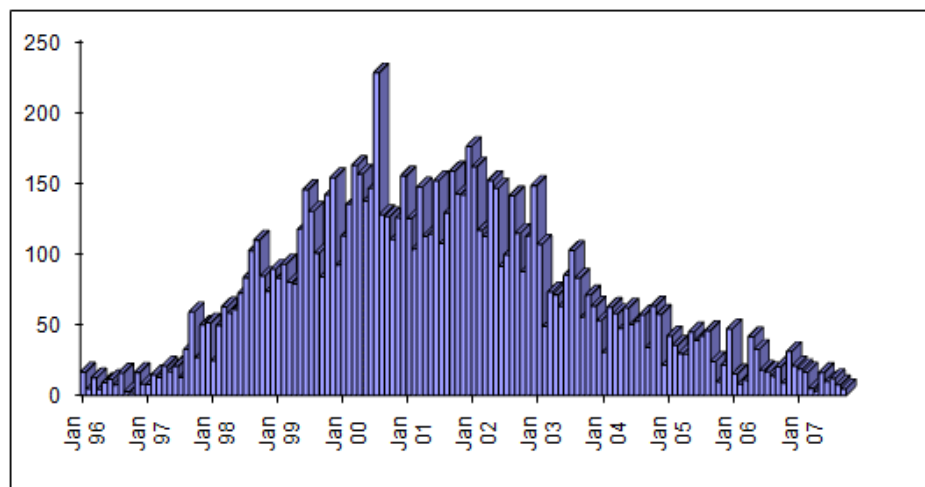


Figura 2.5 – Número de Manchas Solares no Ciclo Solar 23 [18]

Há também estudos que analisam a localização das manchas solares durante um ciclo e também ao longo de vários ciclos [3,19]. Verifica-se que as manchas ocorrem sensivelmente nas mesmas localizações entre vários ciclos. Verifica-se igualmente que estão confinadas a uma latitude entre os 45° Norte e os 45° Sul.

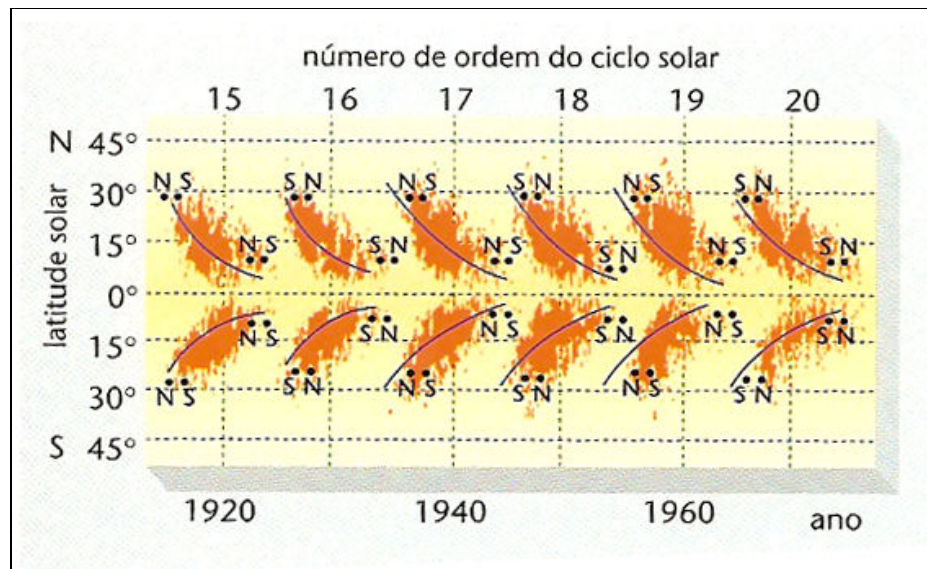


Figura 2.6 – Localização das Manchas por Solares Ciclos Solares [17]

Uma característica também estudada é a dimensão das manchas solares. Verifica-se que existe uma relação entre a variação do número de manchas solares e a variação da área das manchas solares, ou seja que a actividade solar influencia a dimensão das manchas solares.

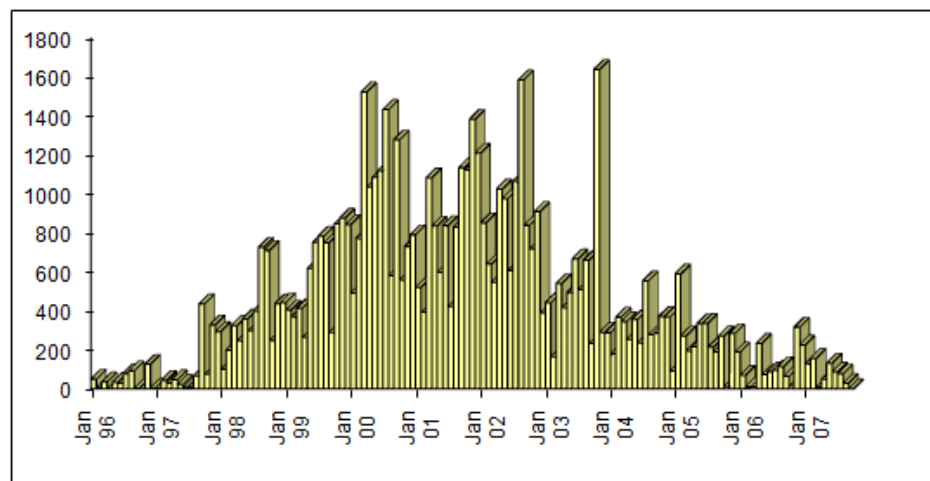


Figura 2.7 – Variação do Valor da Área em MSH (*millionths of the solar hemisphere*) das Manchas Solares Durante o Ciclo Solar 23 [19]

3. Descrição da Aplicação

A detecção automática ou manual de objectos em imagens requer conhecimento das características dos objectos que se pretendem detectar, e das características do meio onde estes estão inseridos. Esse conhecimento permite orientar o estudo do algoritmo a aplicar na solução do problema que se pretende resolver.

As imagens solares, disponibilizadas pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, são criadas a partir do espectroheliograma *Ca II K-line* e têm o sol sobre fundo branco. As imagens fornecidas podem ser classificadas em dois grupos distintos: um primeiro grupo onde as imagens apresentam as 4 marcas dos pontos cardeais, e um segundo grupo, que não tem marcas dos pontos cardeais. A diferenciação do tipo de imagens fornecidas está relacionada com o processo de digitalização dos espectroheliogramas. No primeiro caso, as imagens não sofreram qualquer manipulação. No segundo caso, as imagens terão de sofrer uma manipulação geométrica, a rotação, de forma a ficarem orientadas com o eixo norte perpendicular à base da imagem.

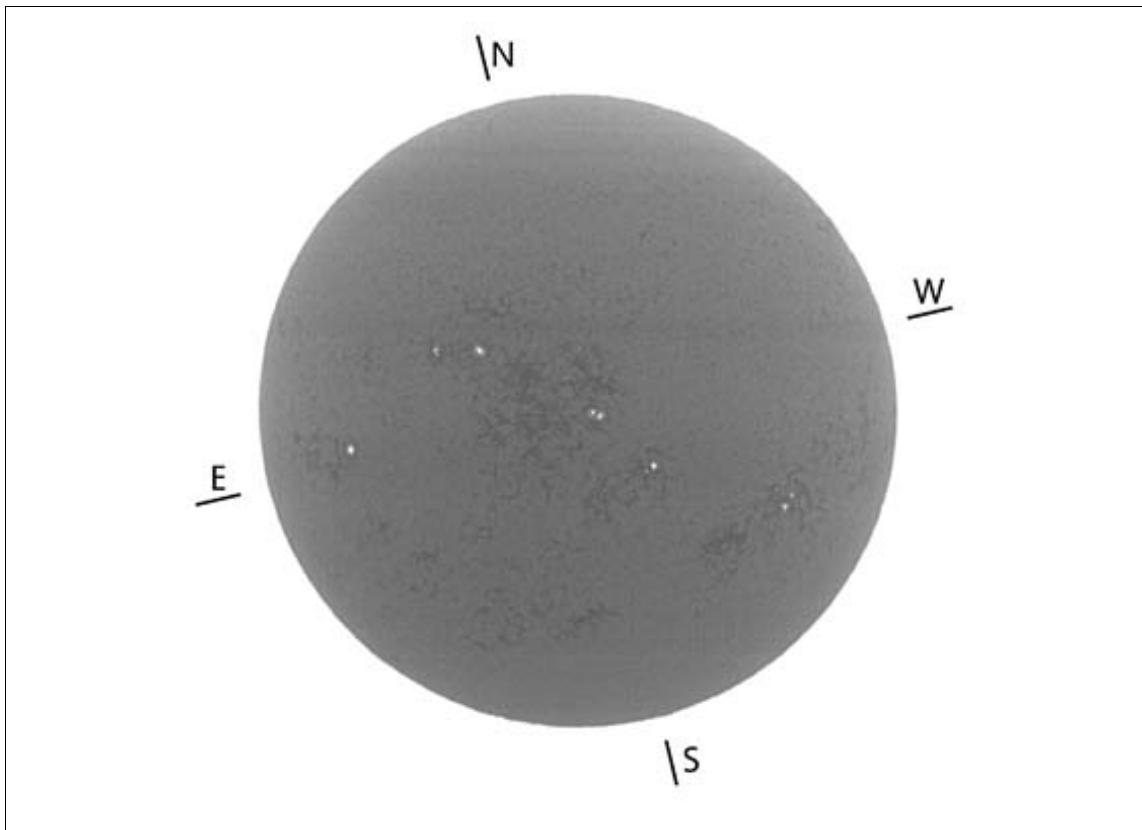


Figura 3.1 – Imagens disponibilizadas pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra: Imagem Original com Marcas

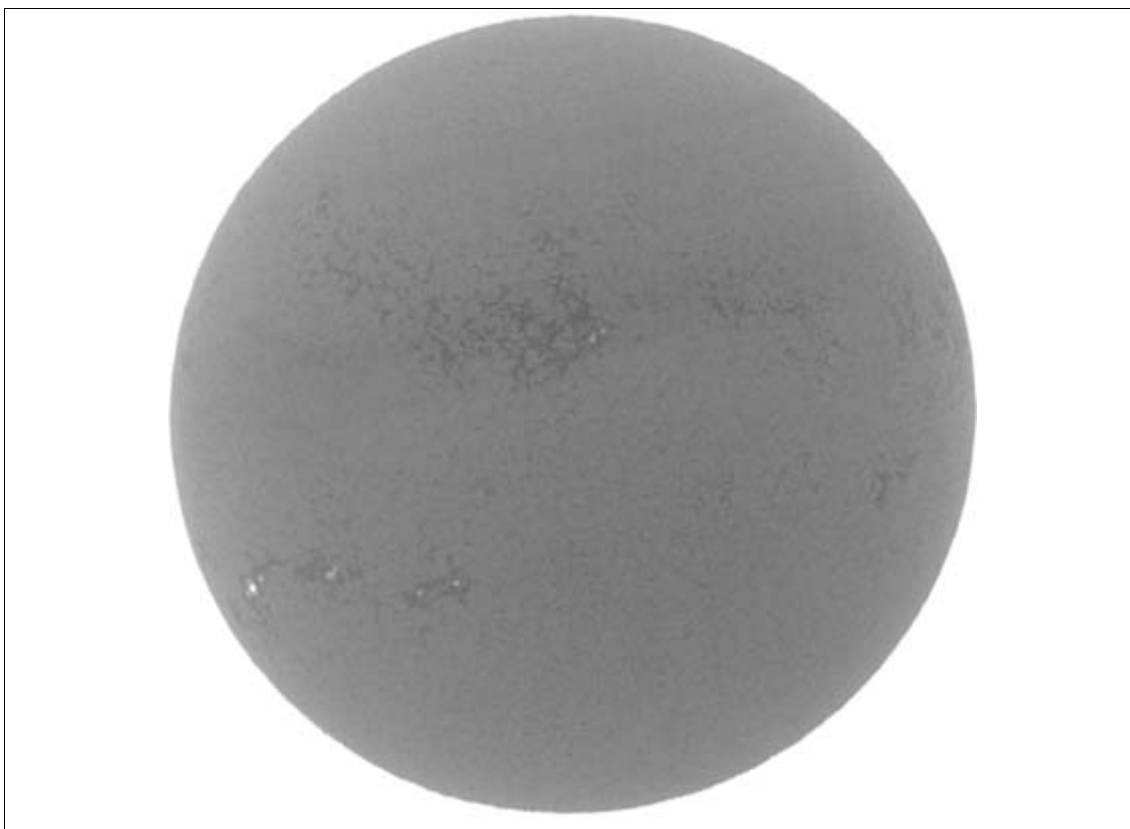


Figura 3.2 – Imagens disponibilizadas pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra: Imagem Original sem Marcas

Nas imagens solares o sol está representado por um círculo com tons de cinzento. Os diferentes tons de cinzento representam a granulação do sol, com os diversos objectos solares representando a actividade solar em tons de cinzento mais claros.

Os objectos solares que se pretendem detectar, as manchas solares, do ponto de vista da imagem digital são zonas visivelmente mais claras que o resto do círculo que representa o sol. As manchas solares de maior dimensão têm duas zonas distintas. A zona central é denominada umbra, que na figura 3.3b) se caracteriza por ser mais escura, e a zona circundante é denominada penumbra, mais clara que a primeira [22]. As manchas solares de menor dimensão apenas apresentam a zona umbra. Do ponto de vista astronómico são objectos com forma arredondada, mas irregular, e sem qualquer padrão elegível. Segundo diversos estudos encontrados, a sua localização está limitada aos $\pm 45^\circ$ em relação à linha do equador [19].

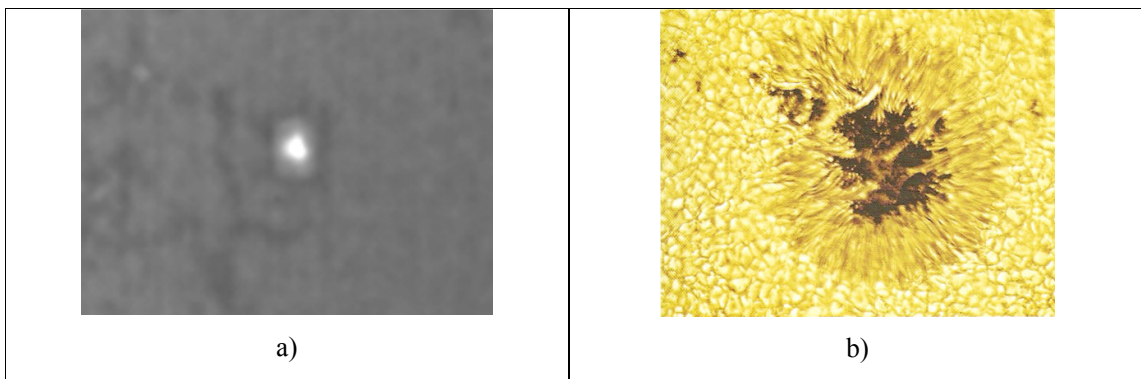


Figura 3.3 – Forma das manchas solares: a) - Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, b) [17]

Conhecidos alguns aspectos sobre as manchas solares, e com base no conhecimento das metodologias tipicamente aplicadas a problemas semelhantes ao que nos propomos resolver nesta tese, há que seleccionar qual a abordagem a tomar no desenvolvimento da aplicação.

A intenção de tornar automática a aplicação tem por objectivo eliminar todas as metodologias dependentes da intervenção de utilizadores em toda ou qualquer parte dos processos utilizados na detecção de objectos solares. Logo à partida terá de se utilizar a totalidade da imagem de modo a tornar a aplicação automática. Deste modo, o estudo da imagem far-se-á sobre o seu todo e não, como visto em alguns casos, sobre um grupo de manchas ou região de interesse onde estejam representadas manchas solares.

O conjunto de imagens disponibilizadas pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, utilizadas para testar a aplicação, tem imagens com diferentes características. Esse facto requer da aplicação um bloco de pré processamento para tornar todas as imagens com um formato normalizado.

Tendo em conta alguns dos problemas das metodologias de *threshold* [7,8], associadas à classificação, será necessário utilizar a segmentação da imagem para agrupar regiões de pixéis com características semelhantes. Encontradas as várias regiões das imagens, há que decidir se representam, ou não, algum objecto solar. Essa decisão terá de passar por classificar as regiões definidas pela segmentação.

A aplicação está dividida em três blocos principais. O primeiro bloco faz o pré processamento à imagem de entrada, cujo objectivo é criar um formato padrão a apresentar à análise das imagens. Neste caso, pretende-se que o sol, representado nas imagens, tenha sempre a mesma dimensão e orientação. O segundo bloco recebe a imagem formatada e segmenta a imagem solar em regiões de pixéis. O objectivo do segundo bloco é agrupar pixéis com características semelhantes para posteriormente serem classificados no terceiro bloco. O terceiro bloco classifica as regiões de pixéis em duas classes: uma classe representativa da superfície solar e outra classe representativa das manchas solares.

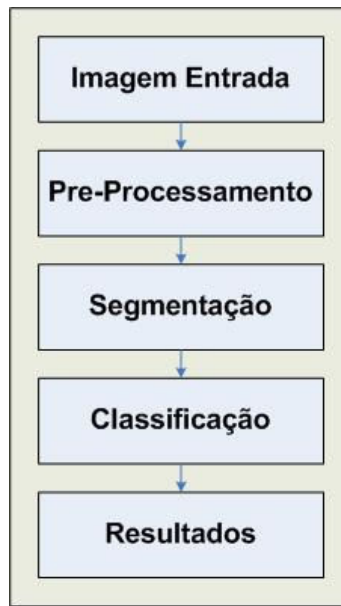


Figura 3.4 – Diagrama de blocos da aplicação

A aplicação recebe dois parâmetros de entrada. São eles o ficheiro de imagem digital em formato TIFF (*Tagged Image File Format*) e o nome do ficheiro de saída em formato texto (TXT).

Como resultados, a aplicação devolverá um ficheiro de texto com dados referentes às manchas solares detectadas, e três imagens representativas do processo de classificação e da identificação das manchas solares detectadas.

I. Pré Processamento

Como já foi referido, o objectivo do pré processamento é criar um formato padrão a apresentar à análise das imagens. As imagens que a aplicação irá receber podem agrupar-se segundo dois tipos. Existem as imagens já orientadas e com maior dimensão, e as imagens não orientadas e com marcas de orientação e de dimensão mais reduzida (ver figura 3.5). Terão então de se aplicar métodos de manipulação às imagens para que, no processo seguinte da aplicação, ambos os tipos de imagens sejam classificados segundo os mesmos parâmetros. Ou, por outras palavras, que o sol nas imagens representado tenha sempre a mesma dimensão e orientação.

Se por um lado a manipulação de uma imagem tem como objectivo auxiliar a extracção de características da própria imagem, por outro implica sempre uma perda de informação. A figura 3.5 apresenta o algoritmo com os métodos necessários à normalização das imagens.

O primeiro passo do pré processamento é inverter a imagem de entrada. Esta conversão tem como objectivo facilitar a utilização das funções da ferramenta de processamento de imagem do MATLAB.

Assim, o fundo da imagem e as manchas solares ficam a negro. O Sol mantém-se em tons de cinzento, embora com inversão de valores.

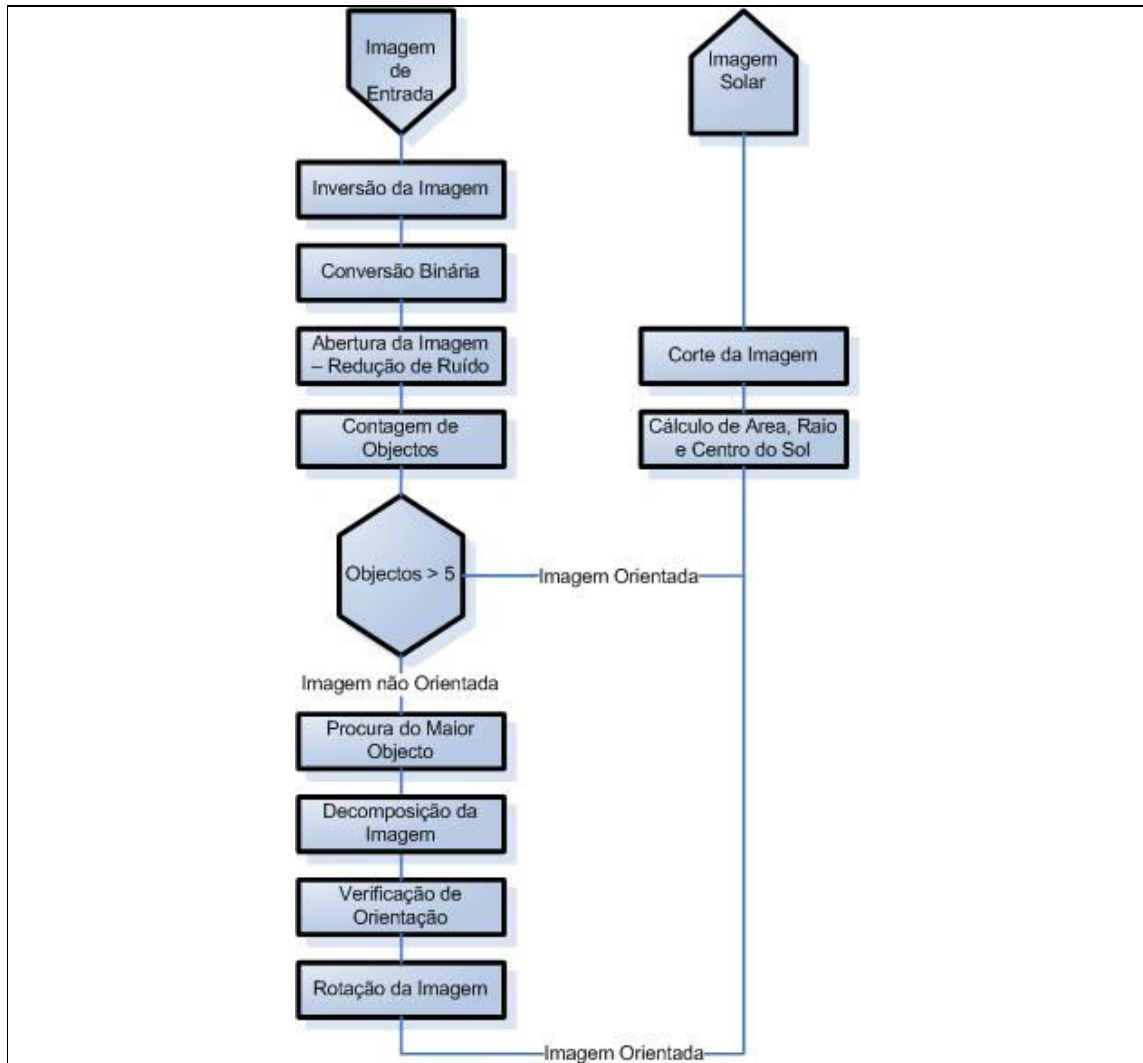


Figura 3.5 – Algoritmo de Pré Processamento

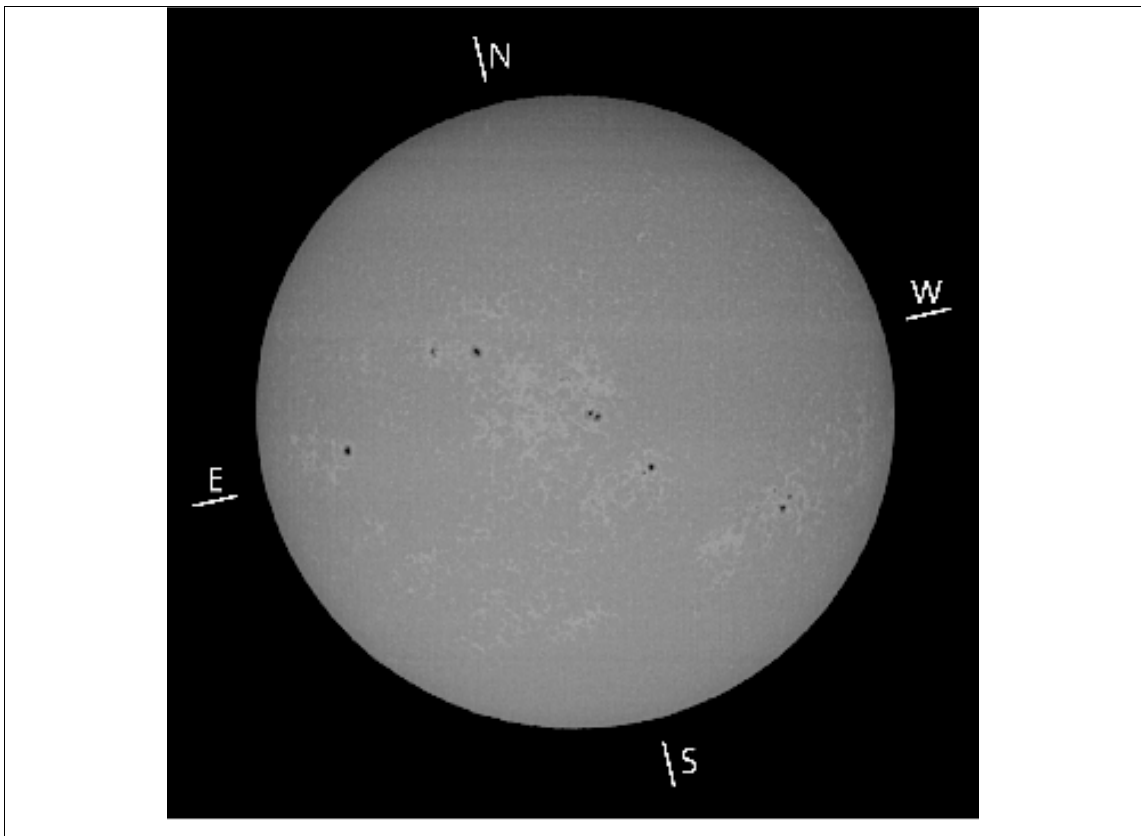


Figura 3.6 – Inversão da Imagem Original: Imagem Original com Marcas

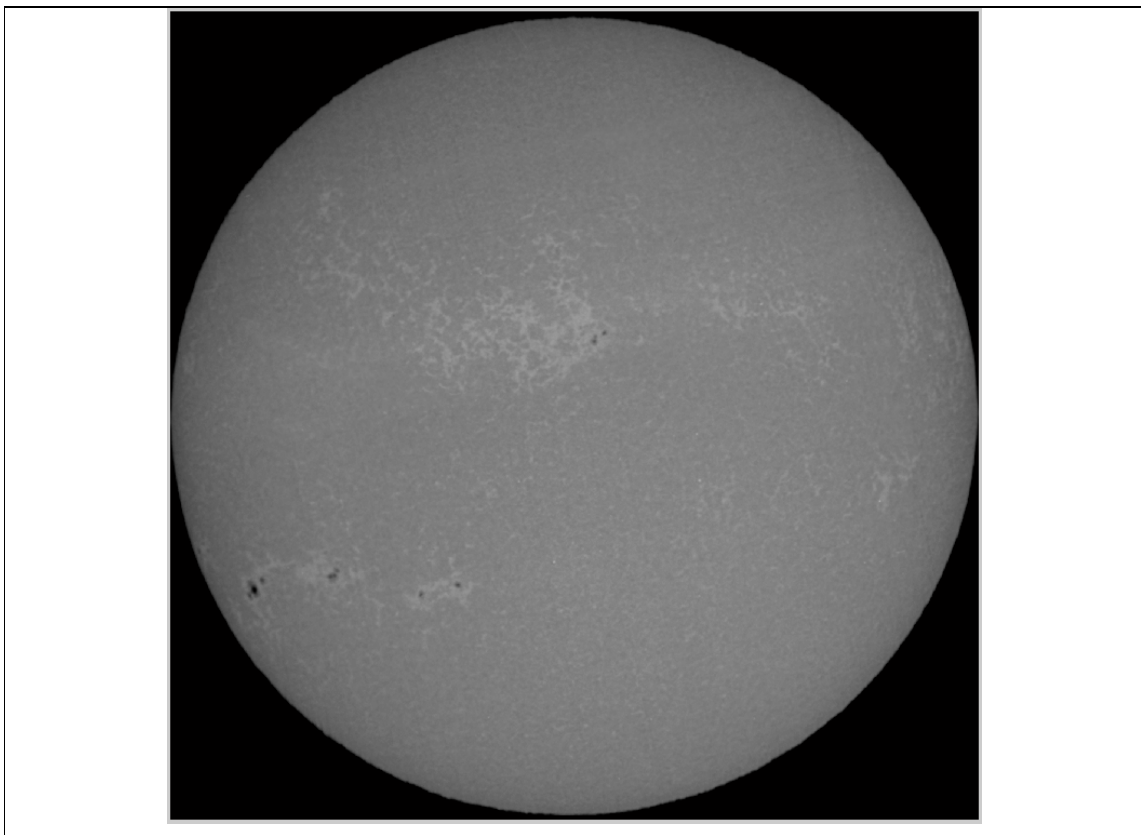


Figura 3.7 – Inversão da Imagem Original: Imagem Original sem Marcas

Uma das características mais visíveis em algumas das imagens disponibilizadas pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra é a presença em algumas delas de marcas dos pontos cardeais. As imagens com essas marcas, ao contrário das restantes, ainda não estão orientadas. De forma a remover essas marcas, procede-se à orientação do Sol para que o eixo Norte-Sul fique perpendicular à base da imagem.

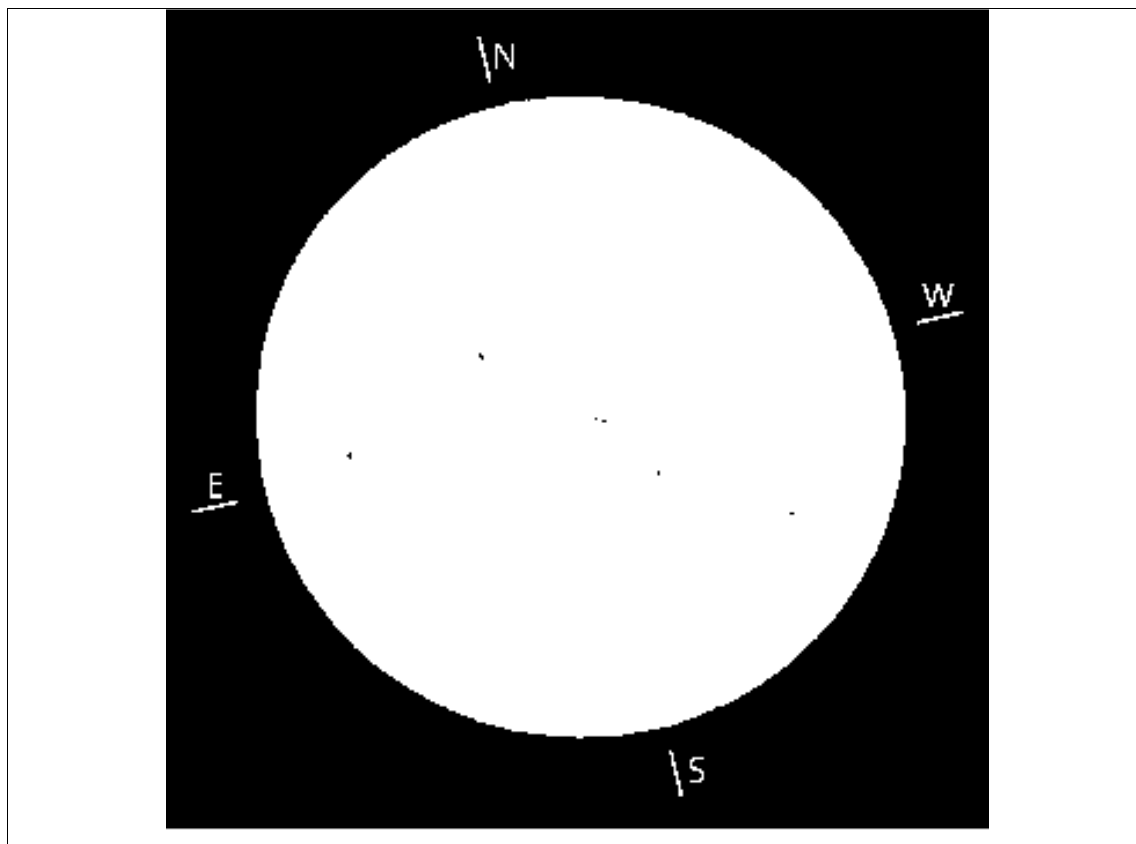


Figura 3.8 – Imagem Binária: Imagem Original com Marcas

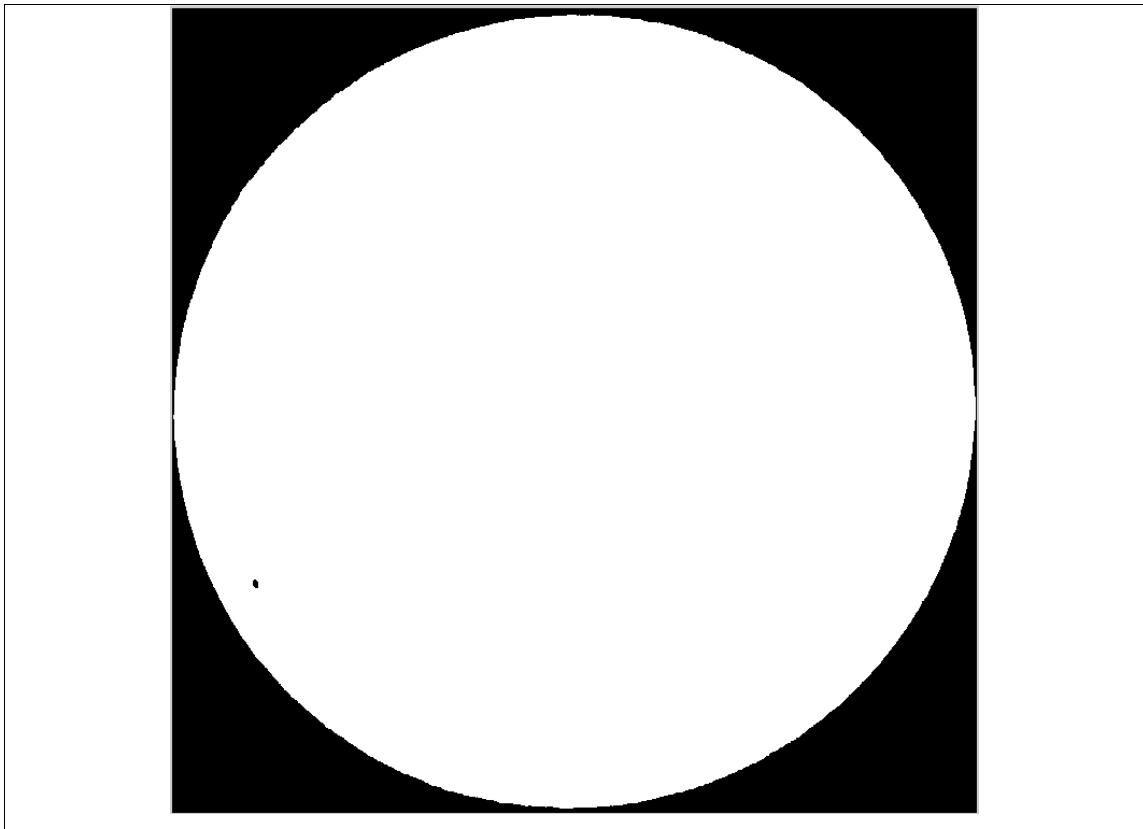


Figura 3.9 – Imagem Binária: Imagem Original sem Marcas

Para descobrir que tipo de imagem a aplicação recebe na entrada, transforma-se a imagem invertida em imagem binária e conta-se o número de objectos concentrados na imagem.

Numa imagem sem marcas de orientação, portanto já orientada, espera-se encontrar apenas um objecto, o que representa o sol. Numa imagem com marcas de orientação espera-se encontrar, além do objecto sol, entre um e dois objectos para cada ponto cardinal. Ou seja, para uma imagem não orientada haverá entre cinco e nove objectos.

A transformação em imagem binária da imagem no MATLAB faz-se utilizando o método de *threshold*, baseado na intensidade luminosa da imagem. Este método define uma fronteira a partir da qual se definem apenas dois níveis, neste caso, o nível 0 (preto) e o nível 1 (branco). A dificuldade da utilização do *threshold* em outras fases da aplicação, como seja na classificação das imagens, tem a ver com marcação da fronteira que sirva todas as imagens a classificar. É assim, porque as imagens apresentam diferentes histogramas de tons de cinzento, ilustrados na figura 3.10.

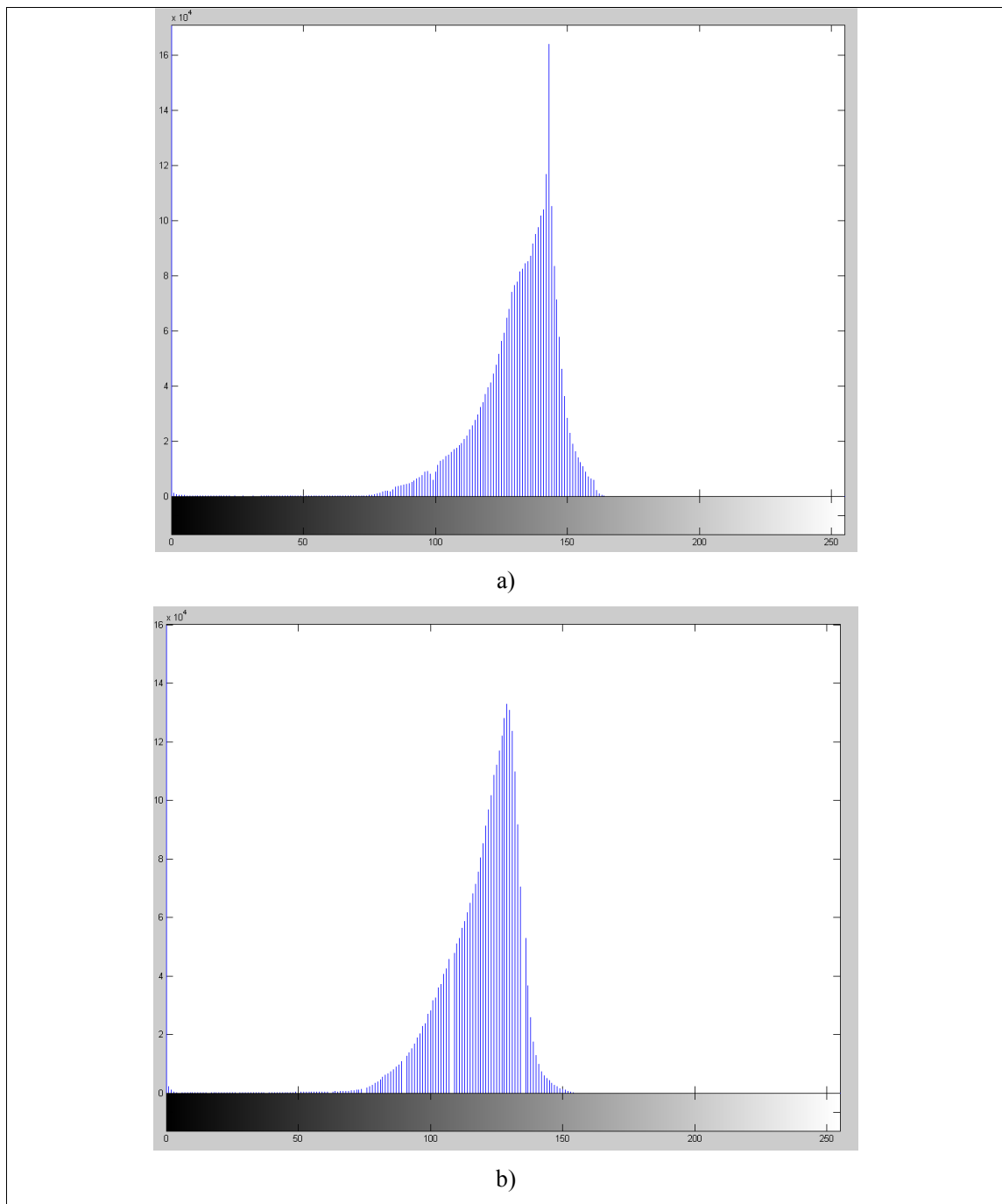


Figura 3.10 – Histogramas dos tons de cinzento: a) Imagem Original com Marcas; b) Imagem Original sem Marcas

É importante utilizar um processo dinâmico que permita definir uma fronteira de *threshold* para cada imagem. Existe no MATLAB uma função que utiliza o método de *Otsu*, que, por definição, pretende minimizar a denominada variância intra-classes e, deste modo, definir a melhor fronteira para cada imagem.

Após a binarização, a imagem sofre um fecho com o objectivo de eliminar pequenos objectos sem qualquer significado no processo de contagem de objectos na imagem. O fecho da imagem é realizado fazendo uma dilatação seguida de uma erosão dos objectos existentes na imagem.

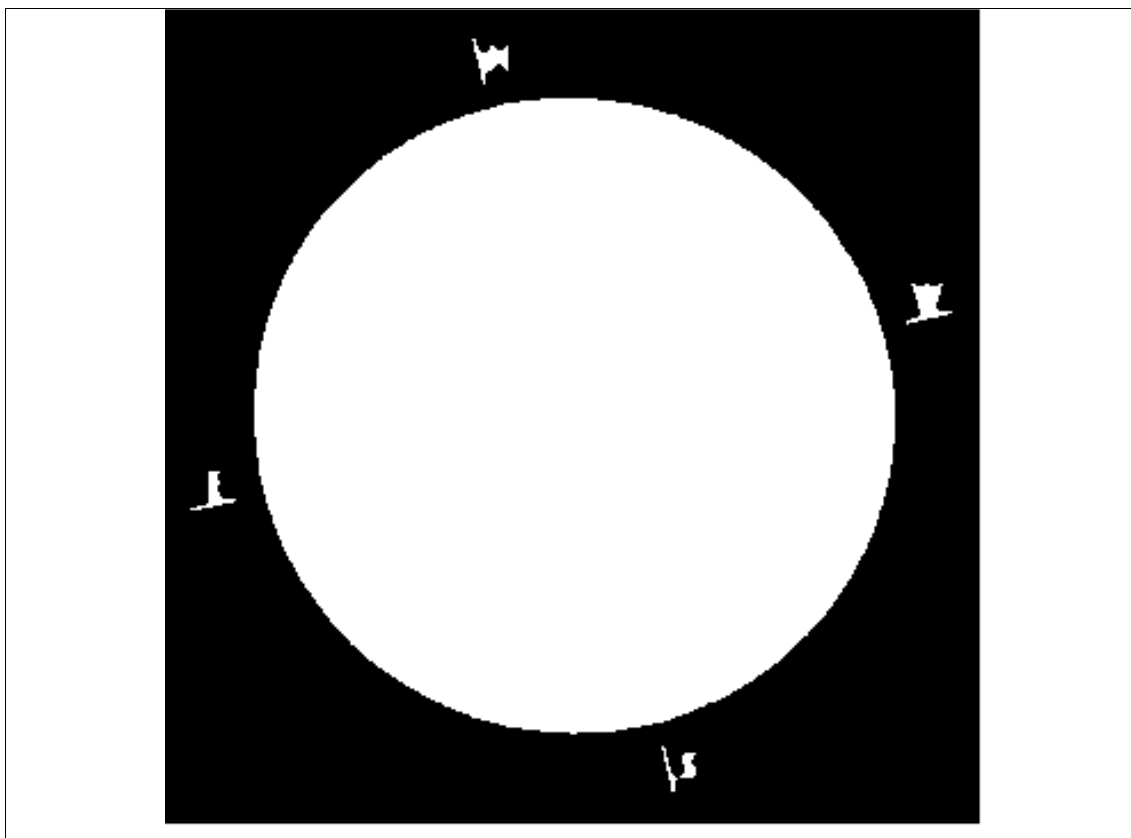


Figura 3.11 – Fecho da Imagem: Imagem Original com Marcas

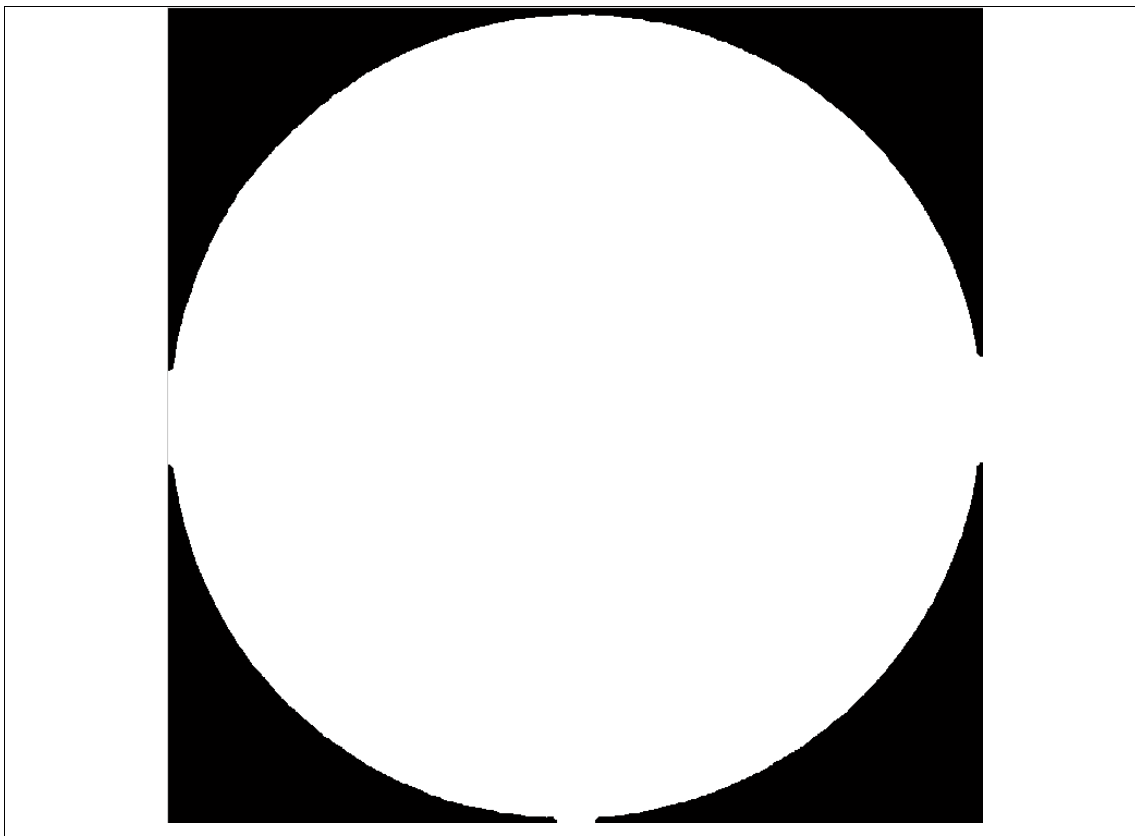


Figura 3.12 – Fecho da Imagem: Imagem Original sem Marcas

No processo da decisão do tipo de imagem de entrada, as imagens que apresentarem mais de cinco objectos são consideradas não orientadas, sendo as outras consideradas como já estando orientadas. A escolha do número 5 prende-se com a quantidade de objectos que são espectáveis de encontrar quer num quer noutro caso.

Conhecido o tipo de imagem de entrada, a fase seguinte é o redimensionamento da imagem solar. As imagens possuem o objecto sol com diferentes dimensões, sendo que as que têm marcas de orientação apresentam o sol com menores dimensões. De modo a normalizar essa dimensão, definiu-se, para uma imagem de 2000x2000 pixéis, uma margem de 20 pixéis entre os bordos da imagem e o objecto sol. Deste modo, o raio de sol passa, para todas as imagens, a ser de 980 pixéis.

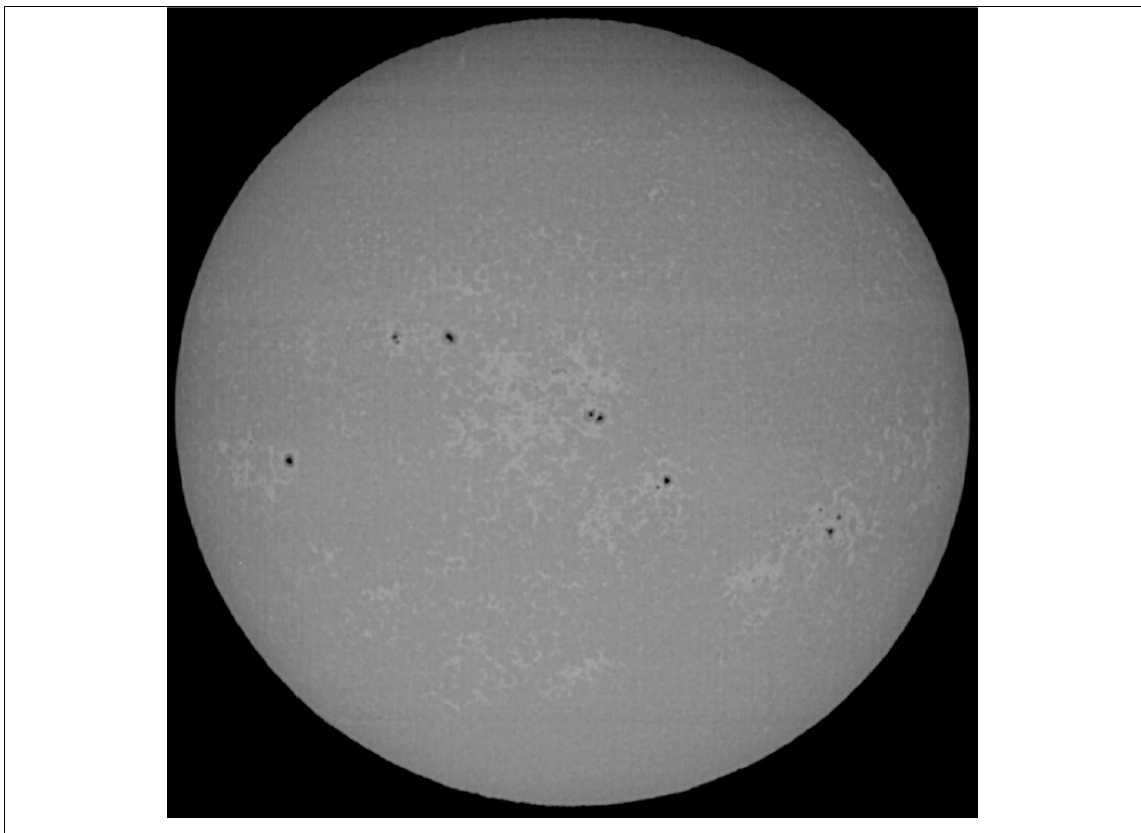


Figura 3.13 – Imagem Redimensionada: Imagem Original com Marcas

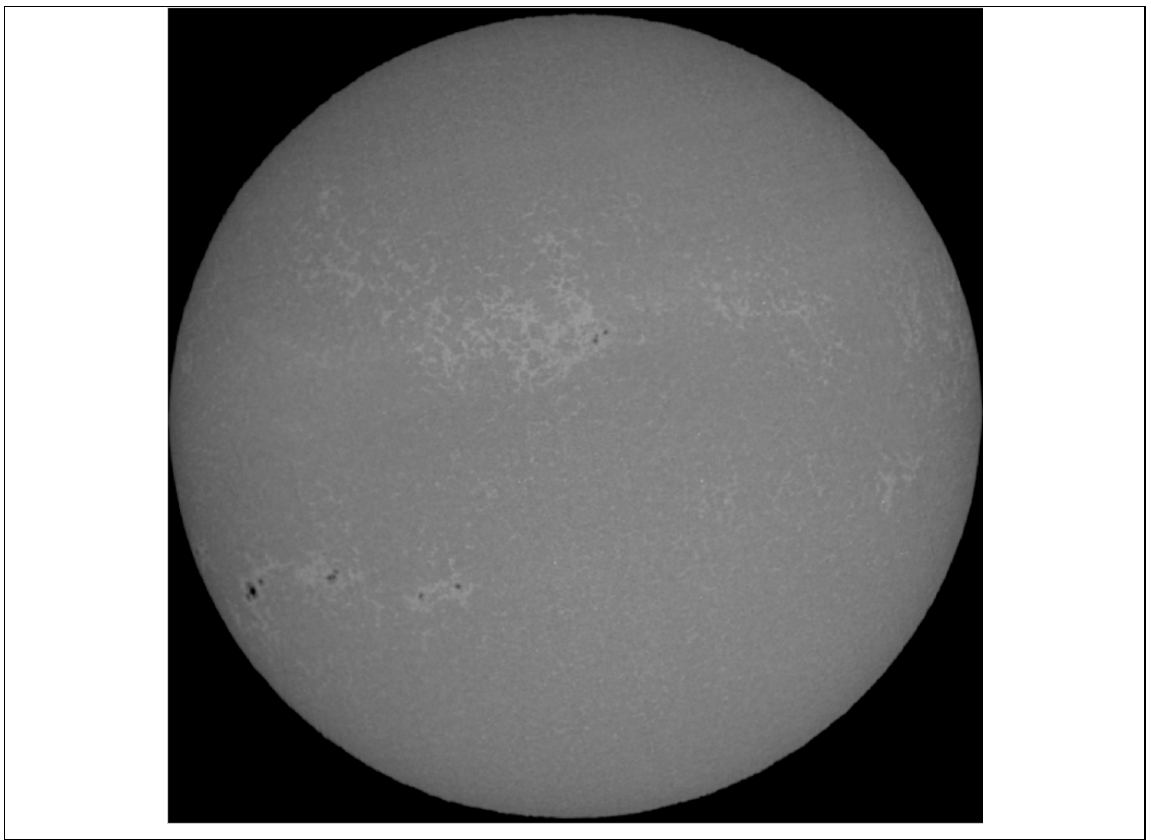
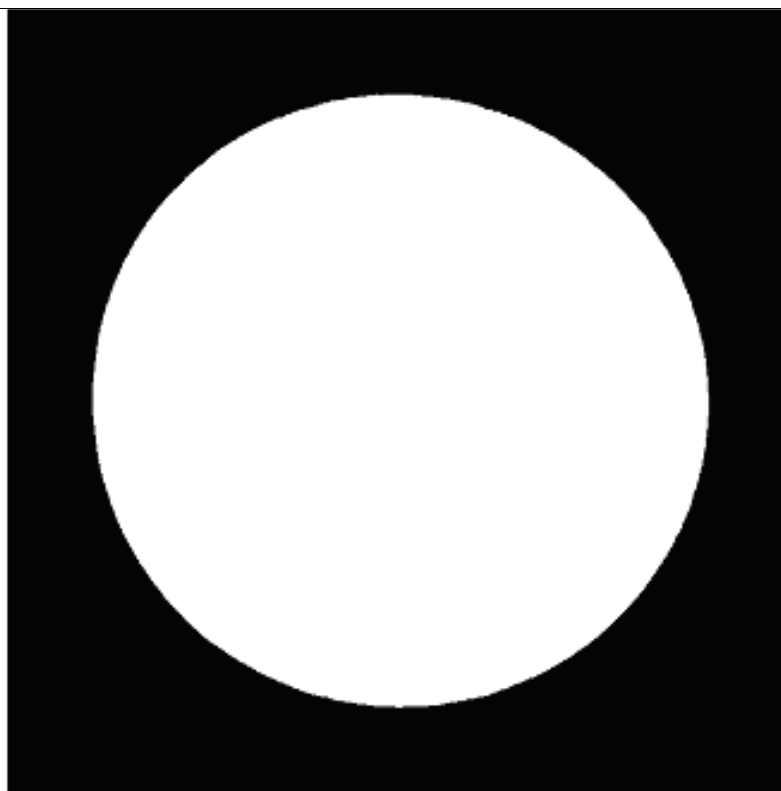


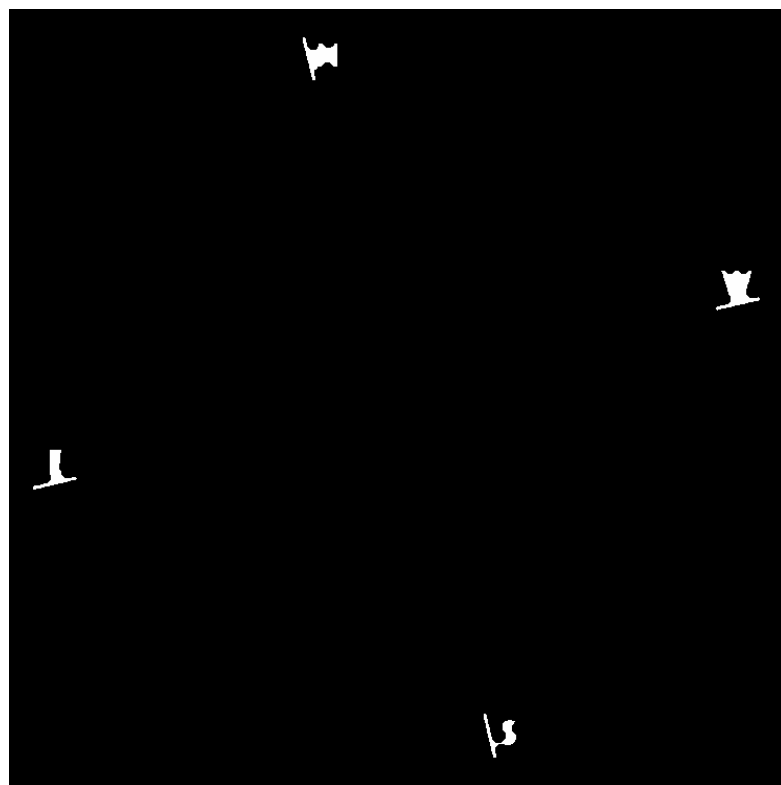
Figura 3.14 – Imagem Redimensionada: Imagem Original sem Marcas

Utilizando essas medidas faz-se o seu redimensionamento, o que implica o corte das imagens que apresentam excesso.

As imagens que apresentam marcas de orientação foram anteriormente separadas em duas imagens. Uma apenas com o objecto sol (claramente o maior dos objectos presentes) e outra apenas com as marcas de orientação.



a)



b)

Figura 3.15 – Separação entre Sol e Marcas de Orientação

Na segunda imagem aplica-se a função do MATLAB *Radon* para determinar a orientação das marcas. A transformada de *Radon* é uma ferramenta muito utilizada no reconhecimento de padrões numa imagem. A sua utilização é tanto mais valiosa, quanto mais os padrões a detectar têm falhas na sua constituição, por exemplo, quando uma linha se apresenta com pequenas falhas na sua constituição. Além do reconhecimento de linhas rectas é bastante utilizada no reconhecimento de círculos e parábolas. Esta transformada é em tudo semelhante à transformada *Hough*.

$$r(\rho, \theta) = \int \int_{x \ y} f(x, y) \cdot \delta \cdot (x \cos \theta + y \sin \theta - \rho) d_x d_y, \text{ Com } 0 \leq \theta \leq \pi$$

Quadro 3.1 – Expressão Genérica da Transformada de *Hough*

As marcas são constituídas pela letra indicativa do ponto cardinal (N;S;E;O) e um segmento de recta do lado esquerdo da letra, no caso do Norte e do Sul, e por debaixo, no caso do Este e Oeste. A ideia é procurar a orientação dos segmentos de recta adjacentes às marcas Norte e Sul, e a razão é que as letras N e S não têm uma orientação bem definida.

Definido o ângulo segundo o qual é maior a probabilidade de orientação de um objecto, aplica-se a rotação à imagem. É imposta uma condição nesta aplicação em relação ao ângulo de rotação. Todas as imagens fornecidas pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, que apresentam marcas de orientação, terão de ter o eixo Norte num ângulo entre os 40° e os 120°. Essa condição não permite a utilização da aplicação em imagens em que a orientação seja diferente das fornecidas até ao momento, por exemplo, quando o eixo Norte está num ângulo inferior a 40°.

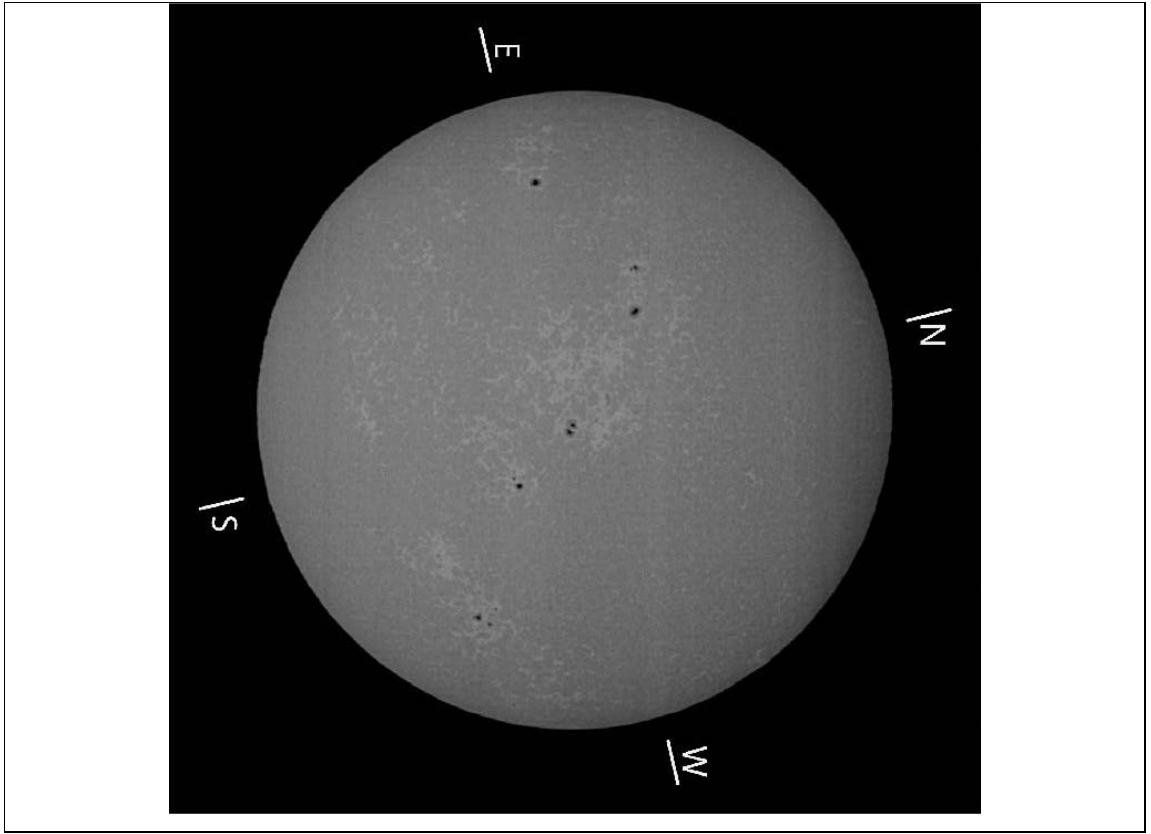


Figura 3.16 – Exemplo de Imagem Não Válida para a Aplicação

As transformações geométricas numa imagem original produzem sempre uma alteração dos seus valores [23,24,25,26]. No desenvolvimento desta aplicação são utilizados dois tipos de transformações, a rotação e o escalamento. Como se pode ver no quadro 3.2, os valores de saída são afectados, por exemplo, utilizando cálculo matricial simples.

<p>Rotação $\begin{bmatrix} Out_x \\ Out_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} In_x \\ In_y \end{bmatrix}$ com</p> <p>Escalamento $\begin{bmatrix} Out_x \\ Out_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} In_x \\ In_y \\ 1 \end{bmatrix}$ com S_x e $S_y > 0$</p>	
--	--

Quadro 3.2 – Transformadas Geométricas Utilizadas [25]

Associada às transformações geométricas, existe a interpolação de valores. De uma maneira geral, o resultado dos cálculos das transformações geométricas são números fraccionais, quando, por exemplo, se pretende a utilização de coordenadas com números inteiros. As técnicas mais utilizadas são a truncatura (despreza-se a parte fraccional do resultado), *nearest neighbour* (arredondamento do

resultado), *bilinear* (interpolação utilizando uma região 2x2 pixéis) e *bicubic* (interpolação utilizando uma região de 4x4 pixéis). A eleição da técnica de interpolação a utilizar depende, basicamente, da qualidade da imagem, da transformada geométrica a aplicar e da velocidade de processamento requerida.

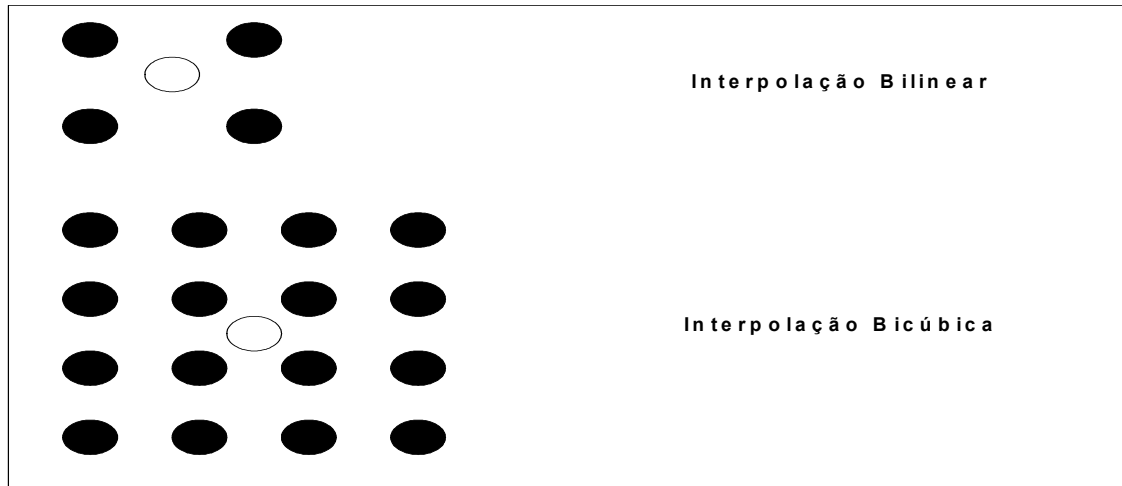


Figura 3.17 – Tipos de Interpolações

Nas duas funções do MATLAB que usam interpolação, **imresize** e **imrotate**, foi usada a interpolação bilinear. Para este tipo de imagens não se justificava a utilização da interpolação bicúbica, uma vez que em termos de qualidade não se notaram as diferenças e o tempo de processamento da interpolação bilinear é mais reduzido.

II. Segmentação

No diagrama de blocos da figura 3.4, a fase que se segue ao pré processamento é a segmentação da imagem. Com a fase de segmentação pretende-se criar condições para facilitar a classificação da imagem. O resultado pretendido com a segmentação será isolar os objectos solares (mais escuros nas imagens resultantes do pré processamento), da fotosfera e do fundo da imagem.

A segmentação é um processo essencial na maior parte das tarefas de análise no processamento digital de imagem, e surge da necessidade de se destacar uma ou mais regiões, ou objectos, de uma imagem. Pode ser vista como a união entre várias regiões homogéneas S_i , que formam uma imagem heterogénea, e terão que satisfazer as seguintes condições:

$$S_i \subset I \quad I = \bigcup_{i=1}^N S_i \quad S_i \cap S_j = \emptyset \quad \forall i \neq j$$

Quadro 3.3 – Expressão Matemática para a Segmentação [29]

A segmentação é utilizada no reconhecimento de objectos e sua caracterização. A ideia de aplicação de um qualquer método de segmentação é separar regiões com diferentes valores de intensidade luminosa, esperando que essa diferença possa fazer a distinção entre diferentes objectos. É assumido que diferentes objectos têm características de intensidade luminosa, ou nível de cinzento, semelhante dentro da mesma região do objecto, e diferente entre os objectos.

Há várias técnicas aplicáveis à segmentação de imagens. Algumas dessas técnicas são: *threshold* (transformação numa imagem binária), detecção de contornos (detecção de descontinuidades da intensidade dos pixels através da utilização de filtros de *Sobel*, *Prewitt* ou *Laplace*), crescimento de regiões (agrupamento de pixels vizinhos segundo a sua intensidade e transformada *watershed*) [27,28]. A técnica a escolher depende do objectivo da aplicação a realizar e dos recursos informáticos disponíveis, de modo a que o resultado final seja satisfatório.

i. Segmentação por *threshold*

A técnica de *threshold* [7,8], além de aplicável em métodos de binarização, é também um possível método de segmentação da imagem. Em imagens relativamente simples, como o da figura 3.18, a segmentação da imagem pode ser realizada com a definição de um nível de *threshold* e desse modo separar os objectos da imagem.

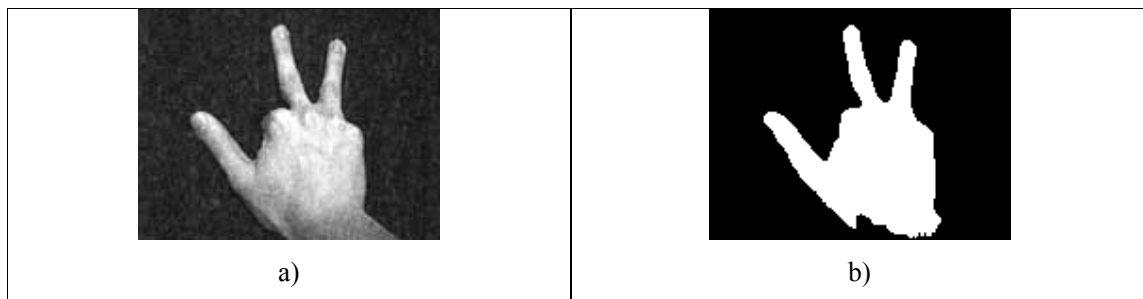


Figura 3.18 – Exemplo de Segmentação: a) Imagem Original; b) Imagem Binária [7]

Se, no caso da figura 3.18, a eleição do nível de decisão, *threshold*, é mais simples, no exemplo da figura 3.19 pode ver-se quão difícil pode ser a definição do nível de *threshold*.

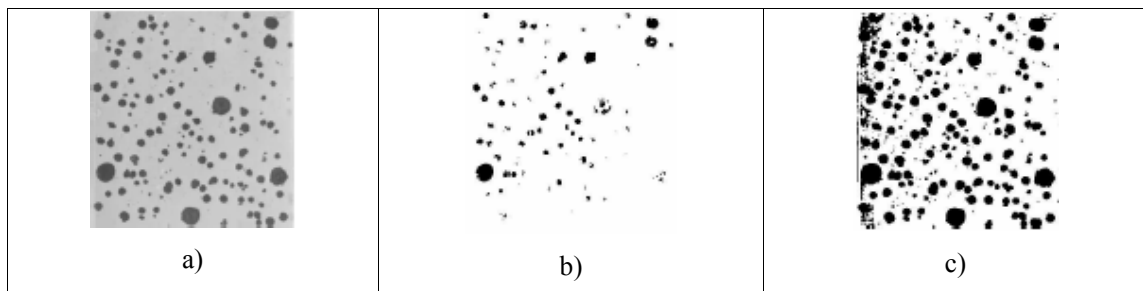


Figura 3.19 – Exemplo de Segmentação: a) Imagem Original; b) Classificação com *threshold* no nível de cinzento igual a 50; c) Classificação com *threshold* no nível de cinzento igual a 75 [7]

Para a mesma imagem e para diferentes níveis de *threshold* podem encontrar-se diferentes resultados na identificação dos objectos. O *threshold* é definido por:

$$g(x,y) = \begin{cases} 0 & f(x,y) < T \\ 1 & f(x,y) \geq T \end{cases}$$

Quadro 3.4 – Definição Genérica de *Threshold* [7]

Ou seja, para qualquer pixel da imagem de entrada (representada pela função $f(x,y)$) que seja inferior ao *threshold* T , à saída será 0, e para qualquer pixel da imagem de entrada que seja igual ou superior ao *threshold* T , à saída será 1. A imagem de saída (representada pela função $g(x,y)$) será sempre binária.

O problema da aplicação de técnicas de *threshold* em imagens de tons de cinzento é que apenas se tem em consideração a intensidade luminosa, ignorando a relação que existe entre os pixéis. Poderá acontecer que pixéis com intensidades diferentes, mas que pertençam ao mesmo objecto, sejam separados mesmo quando são adjacentes. Para níveis mais altos de ruído, mais facilmente se verifica a existência de pixéis isolados do objecto a que pertencem ou até a total descaracterização do objecto. Será desejável fazer uma representação da intensidade de uma região para caracterizar um objecto em perfeitas condições, isto é, tomar em conta a intensidade luminosa da região circundante de um pixel para melhor o caracterizar. Além do mais, a função de saída apenas disponibiliza 2 valores, o que para algumas aplicações pode ser limitativa, por não permitir a identificação de objectos de vários tipos e, ou, com características diferentes.

ii. Segmentação por detecção de contornos

A segmentação por detecção de contornos consiste na aplicação de um filtro que utiliza uma máscara baseada numa transformada, que pode ser de *Sobel*, *Prewitt* ou *Laplace*. Tomada como exemplo, a segmentação de *Sobel* é determinada pelos máximos do gradiente da imagem. O método de cálculo da máscara a utilizar é baseado na convolução de duas matrizes 3x3 pixeis, em que os valores dos elementos são perpendiculares entre si (ver quadro 3.5) [29].

	-1	0	+1		+1	+2	+1	
	-2	0	+2		0	0	0	
	-1	0	+1		-1	-2	-1	
	Matriz M1				Matriz M2			

Quadro 3.5 – Exemplo de Matrizes para Cálculo de Gradiente de *Sobel* [29]

O resultado da convolução das duas matrizes é o valor do gradiente para aquele ponto (ver quadro 3.6).

$$|G| = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$$

Quadro 3.6 – Cálculo do Gradiente de *Sobel* [29]

Os elementos da matriz da máscara para os diversos filtros tomam diversos valores, que dependem dos objectivos a atingir pela aplicação. Uma das vantagens deste tipo de segmentação é a utilização da convolução das matrizes, que a torna menos sensível a ruído. A aplicação do filtro tem como objectivo identificar numa imagem os pontos com maior gradiente. Nesses pontos verifica-se uma variação do nível de cinzento, indicando uma região com diferentes características. A utilização da segmentação por contornos não se revelou eficaz na aplicação se que está a desenvolver. Como é facilmente observável, nas figuras 3.20 e 3.21, existe uma assimetria na qualidade dos resultados. Na parte inferior da imagem solar é mais notória a separação do fundo da imagem das manchas. Também o contorno do Sol apenas é identificado na parte inferior da imagem solar. Uma característica da transformada de *Sobel* verificada é a sua menor sensibilidade quando utilizada em imagens com baixo contraste, como é caso da imagem da figura 3.20.

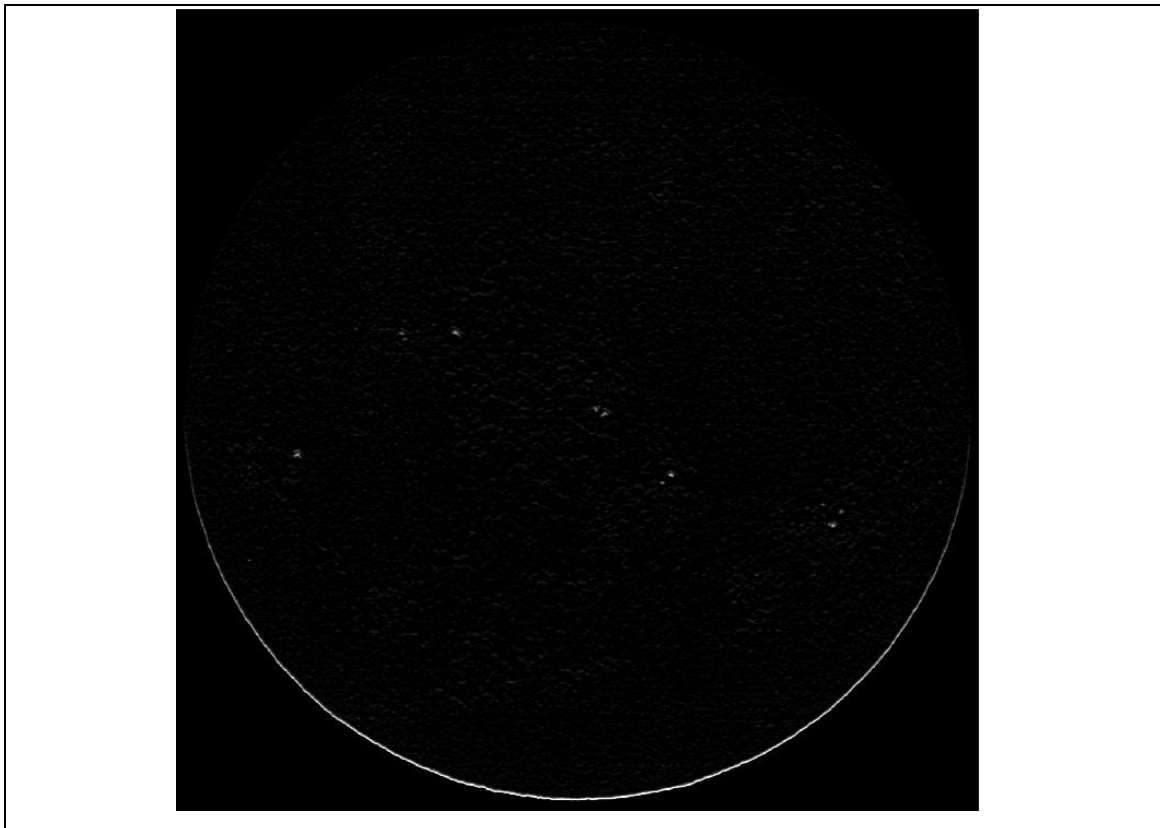


Figura 3.20 – Imagem Segmentação através da Transformada de *Sobel*: Imagem Original com Marcas

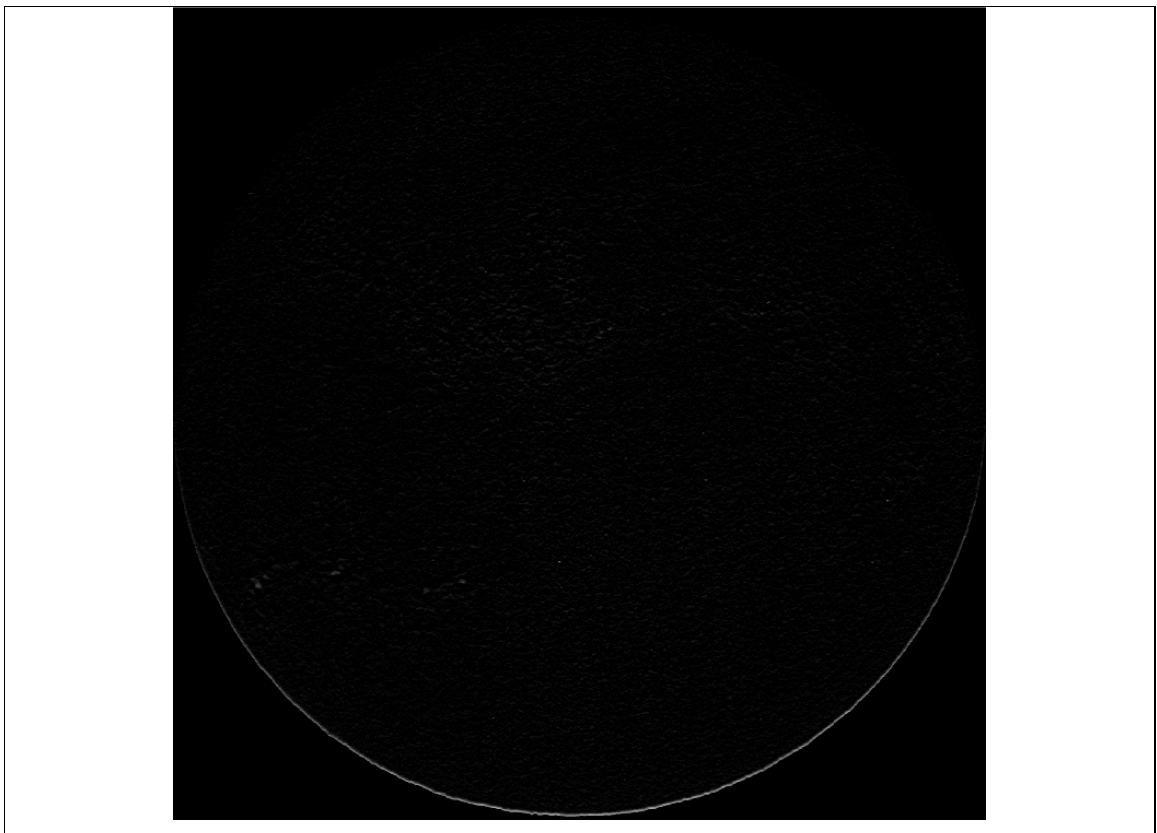


Figura 3.21 – Imagem Segmentação através da Transformada de *Sobel*: Imagem Original sem Marcas

ii. Segmentação por *watershed*

A transformada *watershed* foi proposta por *Digabel* e *Lontuéjoul* [28] como um novo método de segmentação de imagens em tons de cinzento. O princípio da transformada de *watershed* tem como alegoria a inundação de uma superfície com topologia acidentada. Partindo do mínimo da superfície, vão-se formar várias regiões à medida que se vai enchendo com líquido, até que toda a superfície esteja inundada sem líquido de outras fontes (regiões). As linhas que separam as várias regiões da superfície são as denominadas linhas de *watershed*.

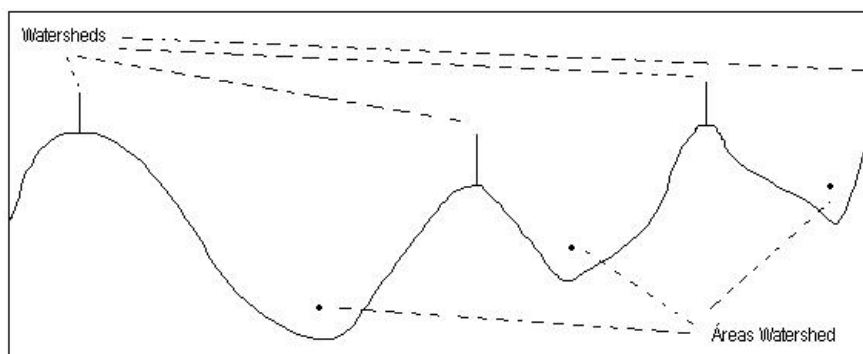


Figura 3.22 – Ilustração Topográfica da Transformada de *Watershed*

A *watershed* é um método híbrido, por combinar a detecção por contornos e a identificação de regiões, e que apresenta contornos fechados. A transformada *watershed* faz agregar todos os pixels da imagem. A transformada *watershed* é um dos métodos de segmentação baseados em agregação de pixels em regiões, e sendo aplicada a imagens em tons de cinzento permite identificar diferentes zonas caracterizadas por diferentes tons de cinzento. Cada região é definida por ter uma característica comum a todos os pixels dessa região. Tendo isso em consideração, a imagem é dividida em pequenas regiões, às quais se atribui um identificador, ou *label*, único na imagem. O modo como se faz a agregação dos pixels em regiões, e o método pelo qual são atribuídas as *labels*, depende do tipo e da implementação da transformada de *watershed*. Isso é definido pelos diversos algoritmos de *watershed* desenvolvidos em computação.

Existem alguns problemas na computação da transformada *watershed* relacionados com a dificuldade de implementação de uma qualquer especificação definida, e, como tal, acabam por existir diversas implementações para a mesma especificação [30]. Por um lado, as especificações não estão, na sua maioria, definidas para sistemas digitais, mas para sistemas analógicos. Por outro lado, inevitavelmente também existem optimizações que são introduzidas para melhorar a rapidez da transformada, e outras modificações para melhorar o desempenho da *watershed*, que adulteram o princípio definido para o algoritmo. Existem diversos algoritmos baseados na transformada de *watershed*, pelo que não existe uma verdadeira e única caracterização da transformada. Além disso, os algoritmos podem não ser adequados à imagem que se pretende segmentar, e produzir resultados indesejados.

A transformada *watershed* é um algoritmo que tende a produzir muitas regiões diferentes no caso de as imagens apresentarem acentuados acidentes topográficos, ruído ou muitas irregularidades. Nesse caso, existirá muita segmentação da imagem, sendo tal facto designado por *oversegmentation*, ou, em português, sobre segmentação.

Os métodos habituais de redução da sobre segmentação passam pela utilização de filtros que eliminem pequenos picos e preencham alguns vales. Há outros métodos mais elaborados, que poderão ser a utilização de marcadores, ou a utilização de hierarquias de *watershed*. O método que utiliza marcas de controlo da *watershed* consiste na inundação da superfície a partir de pontos definidos, que não sejam mínimos. As marcas de controlo são colocadas segundo um critério que pode ser o contraste, a distância em relação à marca ou outra qualquer característica da imagem. No entanto, alteram o algoritmo tradicional e necessitam de intervenção humana para que se obtenha o resultado esperado.

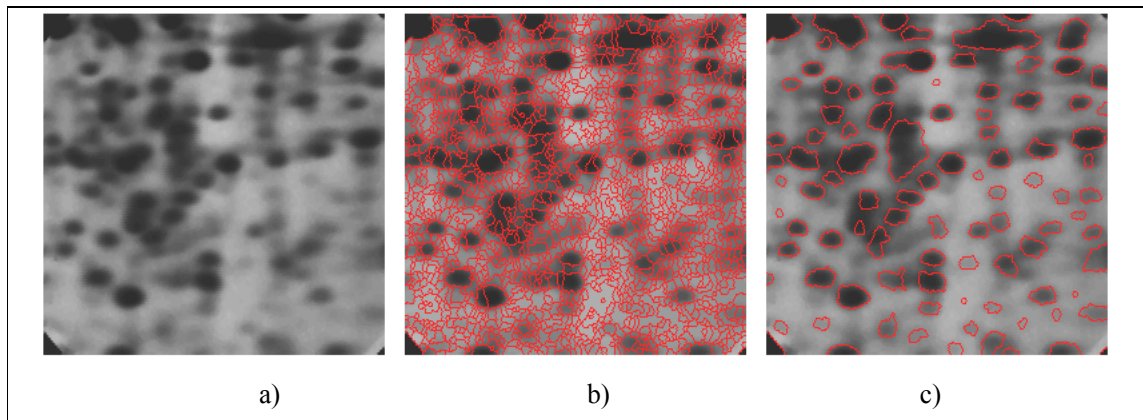


Figura 3.23 – Redução da sobre segmentação: a) imagem original; b) imagem sobre segmentada; e c) imagem com segmentação reduzida [15]

Outros métodos sugeridos para reduzir a sobre segmentação [31] são a regulação e o nivelamento. O primeiro método quebra a topologia da imagem impondo mínimos ou máximos cujo objectivo é eliminar pontos isolados pouco significativos, e sem interesse, no conjunto da imagem, normalmente associados a ruídos. A regulação superior elimina mínimos sem interesse. A regulação inferior elimina regiões superiores sem interesse. O segundo método mantém a relação dos mínimos da topologia, mas verifica na sua vizinhança se um mínimo está isolado ou se a barreira que o separa de outro mínimo tem pouca altura.

Há duas abordagens no desenvolvimento dos algoritmos de *watershed*: os algoritmos paralelos e os algoritmos sequenciais. Os algoritmos paralelos podem ser de dois tipos: um, em que as imagens são divididas e distribuídas pelos diversos processadores disponíveis, outro, em que o processamento é distribuído pelos diversos processadores. Os algoritmos sequenciais são calculados apenas num único processador. A performance da computação paralela depende da ligação existente entre o processador e a memória. Nos sistemas de memória partilhada e onde há apenas uma memória, existem problemas de largura de banda quando vários processadores acedem simultaneamente. Por norma, a computação dos diversos algoritmos paralelos ou sequenciais é ineficiente nos computadores convencionais por implicar a análise de todos os pixéis da imagem [29].

Um outro problema, que afecta alguns algoritmos da *watershed*, é a dependência dos resultados em relação à ordem com que os pixéis são analisados durante a execução da transformada. No caso sequencial, esse problema pode ser resolvido se se fixar uma ordem predefinida, forçando um resultado igual em vários momentos. Em implementações em paralelo, esse problema é de difícil resolução, uma vez que os resultados dependem do tempo relativo com que os diversos processadores analisam os pixéis, sendo impossível fazer previsões nos casos em que não existe sincronismo entre os diversos processadores.

Os algoritmos sequenciais de *watershed* mais conhecidos [32] utilizam as transformadas desenvolvidas com base no algoritmo recursivo de *Vincent & Soille* [33], e transformadas desenvolvidas com base nas funções de distância de *Meyer* [34]. Os algoritmos recursivos baseiam-se na agregação de pixéis a um região até que todos os pixéis da imagem sejam agregados. Os algoritmos de distância baseiam-se na variação de nível de cinzento entre pixéis.

Outro dos problemas nos diversos algoritmos da transformada de *watershed* é a ocorrência de planaltos na topografia da imagem. Os planaltos são regiões com nível de cinzento constante. Essas regiões são de difícil abordagem por algoritmos baseados em funções de distância de *Meyer*, porque estes alteram as características topológicas da imagem, passando inclusive valores incorrectos. Esse problema não se coloca nos algoritmos recursivos de *Vincent & Soille*, pois nestes algoritmos a segmentação é calculada nível a nível onde em cada um dos passos são calculadas as fronteiras das diversas regiões.

A função **WATERSHED**, na actual versão do MATLAB R2007b, utiliza o algoritmo de *Fernand Meyer* [35]. As versões anteriores à versão R2007a utilizam uma diferente implementação do algoritmo, que gera regiões não contínuas com a mesma *label*. A actual versão do MATLAB disponibiliza a função **WATERSHED-OLD** para aplicações cujos resultados sejam adulterados pela utilização de um diferente algoritmo.

A maior parte do desenvolvimento desta aplicação foi realizada na versão 6.5.0.1, pelo que o algoritmo utilizado pela função **WATERSHED** é ainda o anterior à versão R2007a. Os resultados obtidos *a posteriori* com a função **WATERSHED**, da versão R2007a, são diferentes e totalmente insatisfatórios (ver figura 3.24). O método de atribuição das *labels* às regiões de *watershed* é diferente.

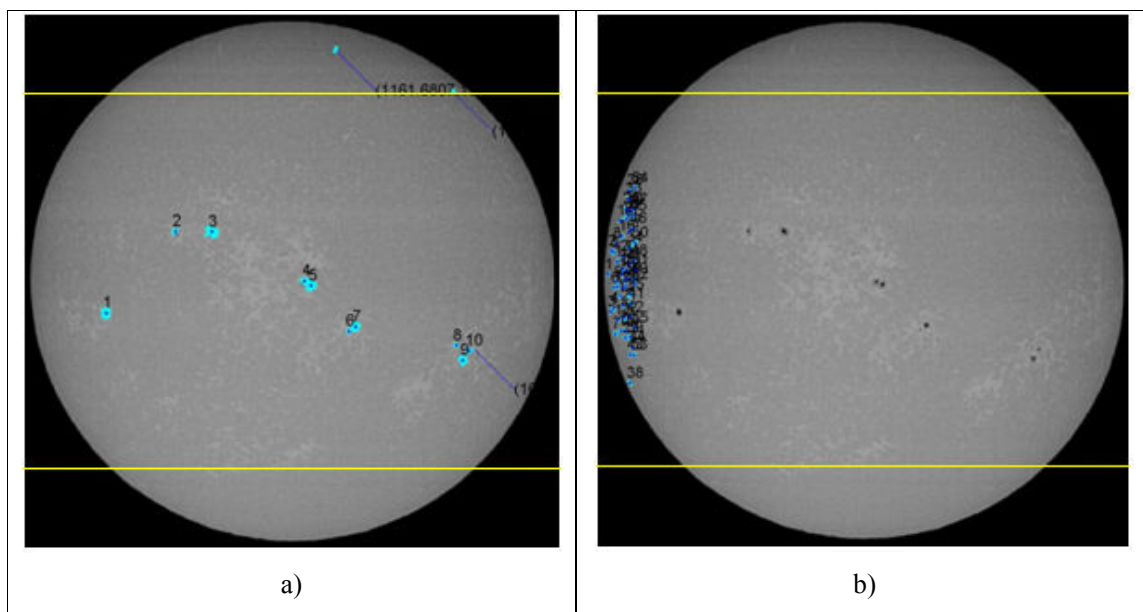


Figura 3.24 – Resultados da Aplicação da Função WATERSHED: a) versão MATLAB 6.5.0.1; b) versão MATLAB R2007a

Apesar destas imprecisões em relação às diferenças entre especificações e implementação da transformada *watershed*, é um algoritmo amplamente utilizado, por exemplo, em processamento de imagens médicas, onde a margem de erro será expectavelmente muito menor. Dos métodos de segmentação existentes foi adoptado o processo de segmentação por transformada de *watershed*.

III. Processo de Equalização

O processo de equalização tem como objectivo realçar alguns aspectos da imagem. Isto acontece porque o processo de equalização faz uma distribuição da intensidade dos pixéis mais frequentes para outras intensidades de pixéis menos frequentes. Faz-se uma análise do histograma da imagem e torna-se esse histograma mais plano.

Tipicamente, as imagens têm uma variação da intensidade luminosa a grande escala (quando analisada a totalidade da imagem) e uma variação da intensidade luminosa a pequena escala (quando analisada uma região específica da imagem). Esta característica tende a tornar o processo de equalização ineficaz, no caso de se analisar a imagem do ponto de vista errado, ou se a imagem tiver uma grande dimensão. Para uma melhor equalização, é aconselhada uma equalização local (pequena escala), porque melhorará a visualização de pormenores [36,37].

Nesta aplicação existe a necessidade de aplicar uma equalização de forma a eliminar um efeito existente nas imagens solares analisadas. É visível uma variação da intensidade luminosa do centro

para a periferia nos espectroheliogramas *Ca II K-line* do Sol. Essa variação corresponde a um escurecimento da imagem nas zonas periféricas do Sol.

O objectivo da equalização é melhorar os resultados da transformada de *watershed*. Sem a equalização, e tendo em conta o escurecimento das zonas periféricas, são identificadas como possíveis manchas solares algumas regiões periféricas e de contorno do Sol. Ao realçar os distintos objectos das imagens solares, o processo de classificação torna-se mais fácil e menos sujeito a erros.

Existem várias soluções como sejam: colocar o fundo da imagem do sol a branco de forma a influenciar a periferia do sol com intensidades semelhantes após uma equalização global; aplicar a equalização por zonas sendo a mais eficaz, para este tipo de imagens, dividir a imagem em zonas radiais; e multiplicar a imagem do sol por uma função cónica. Neste caso o vértice do cone coincidiria com o centro do sol. A ideia é diminuir o valor da intensidade da periferia e manter o valor de intensidade do centro do sol.

Brandt e Steinegger [38] propuseram um algoritmo baseado em anéis com centro no centro do Sol. Os anéis teriam todos a mesma área para que o peso estatístico seja igual para todos os anéis. Assim sendo, a distância entre anéis iria diminuir à medida que do centro do Sol se caminha para a periferia. É calculado o histograma cumulativo da intensidade dos pixéis que constituem os anéis. É então definido que o valor da intensidade luminosa, para o qual a área do histograma cumulativo é 5% do total da área do histograma cumulativo, representa o Sol inerte. A partir desse *threshold* e do valor médio da intensidade luminosa de cada um dos anéis é calculado um polinómio de segunda ordem a aplicar na equalização da imagem.

Foi testada a equalização por histograma nas imagens do sol. Os resultados não foram satisfatórios, uma vez que a equalização foi feita com imagem com fundo negro. Ora, se já havia problemas na verificação da existência de manchas solares na periferia do sol, esses problemas agravaram-se. Por outro lado, no centro do sol as manchas solares tornaram-se mais nítidas. A solução que melhor se adequou foi a aplicação de um polinómio de 1º grau, que multiplicado à imagem de entrada, simula a multiplicação por uma função cónica, se se analisar em duas dimensões. Matematicamente, a aplicação da equalização implica a multiplicação por uma função, representada no quadro 3.7. Além da aplicação do polinómio, para cada ponto analisado é verificada a sua pertença ao Sol, ou ao fundo da imagem. Para o caso de pertencer ao fundo da imagem, o polinómio não é aplicado. Isto tem como resultado a alteração exclusiva dos valores da região de interesse, o Sol, sem alterar os valores do fundo do Sol. A vantagem desta solução é que não se corre o risco de alguns pontos do fundo da imagem, na fronteira com o Sol, serem agregados a regiões de *watershed*, e consequentemente classificados como manchas solares.

$$g(x, y) = (1 + 0.0004 \cdot dist) \cdot f(x, y)$$

A função $g(x,y)$ representa a imagem após a equalização

A função $f(x,y)$ representa a imagem de entrada

O escalar **dist** representa a distância em relação ao centro do Sol, com valor máximo igual ao raio do Sol

Quadro 3.7 – Função de Equalização Aplicada

A representação gráfica da função de equalização é visível na figura 3.25. A função em duas dimensões é semelhante a um cone invertido com o vértice no centro do Sol.

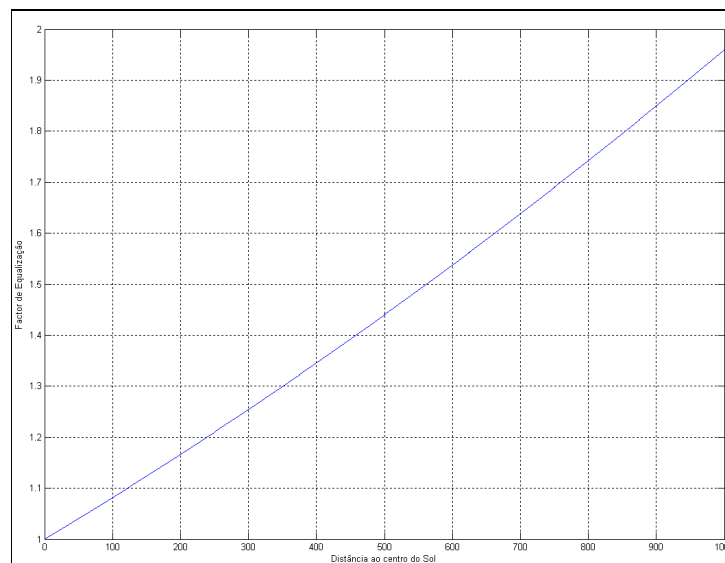


Figura 3.25 – Representação da Função de Equalização

O histograma da imagem, após o pré processamento, ilustra como a imagem tem baixo contraste, devendo-se tal facto a que a maior parte dos pixéis tem níveis de cinzento entre 150 e 200 (ver figura 3.26). Além disso, verifica-se um considerável número de pixéis com nível de cinzento 0, ou seja, nível de cinzento a preto, representantes das regiões que constituem o fundo da imagem.

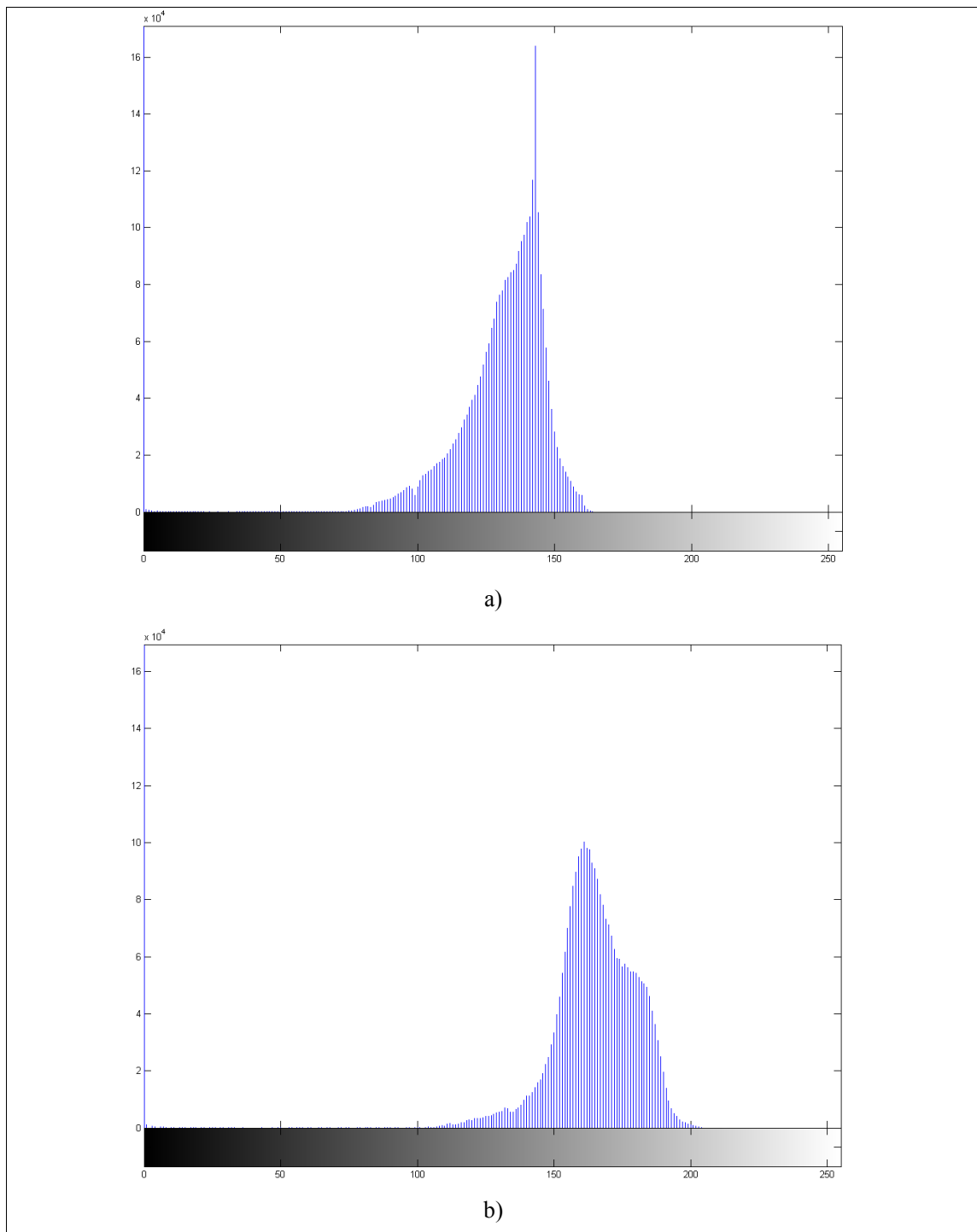


Figura 3.26 – Efeito da Equalização no Histograma da Imagem a Classificar: a) Antes da Equalização; b) Após a Equalização

Quando a equalização é aplicada às imagens, o contraste aumenta e a distribuição dos níveis de cinzento é mais dispersa, o que facilita a classificação. É o que sucede aquando da utilização da equalização nesta aplicação, o que é possível visualizar na figura 3.27.

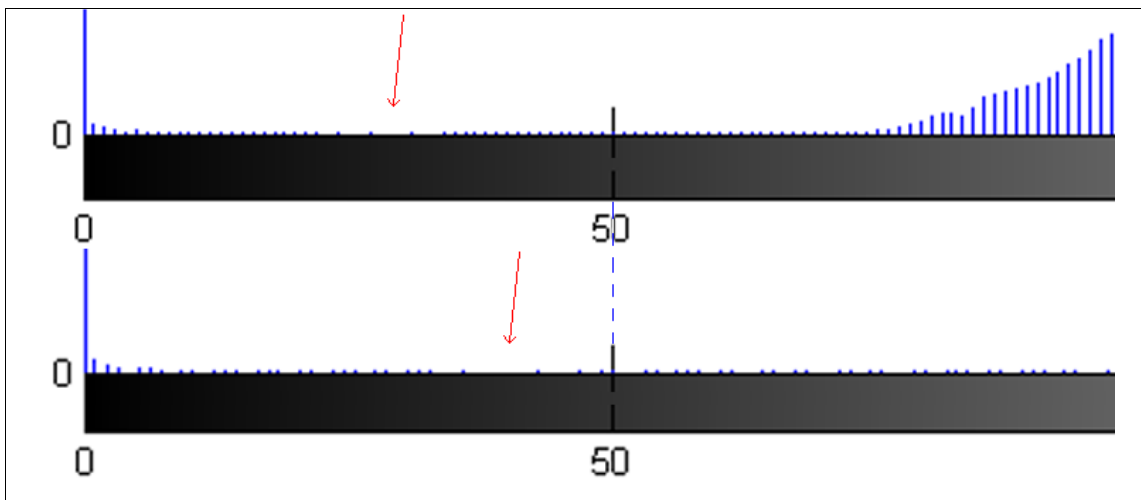


Figura 3.27 – Zoom dos Histogramas da Figura 3.26

IV. Classificação

Após a segmentação, é necessário verificar se as regiões geradas pela transformada *watershed* representam manchas solares. Tipicamente, nos objectos solares têm a área na ordem das centenas de pixéis, e níveis de cinzento mais escuro. Caso isso se verifique, a região analisada é uma possível mancha solar. Os típicos métodos de *threshold* definem o nível de decisão com base numa única característica da imagem, por exemplo, o nível de cinzento. A inovação desta aplicação é utilizar a combinação de dois parâmetros. São utilizados o nível médio de cinzento e a área da região. A ideia é que se considerem objectos solares relativamente escuros e de dimensões observáveis a olho nu. A combinação é feita pela multiplicação das duas características analisadas. O resultado da multiplicação das características analisadas é registado num vector de características, criado durante a verificação das regiões, e modificado quando as regiões representam partes do fundo da imagem.

Caso a região apresente um valor superior a dezenas de milhar de pixéis, essa região representa o fundo preto da imagem. Isto, porque há algumas imagens em que o sol tem os contornos encostados à margem da imagem. Nesses casos, o fundo da imagem pode estar representado por mais do que uma região. Para que não sejam contabilizadas as outras regiões do fundo da imagem, como objecto solar, é identificada a região como outra parte do fundo solar, e os valores da área e do nível de cinzento são modificados para não interferir com os valores médios dessas características. Os valores são, para o caso da área, de um pixel, e, para o caso do nível de cinzento, 0.0001, que é um nível de cinzento muito claro para contrastar com o nível de cinzento das manchas solares. As regiões que contêm o fundo da imagem são contabilizadas e identificadas.

O cálculo da área de um objecto solar é feito com base no somatório do número de pixéis que constituem a região considerada como possível mancha solar.

$$Area = \sum_{p \in L} 1, \text{ Sendo } \mathbf{p} \text{ pixel e } \mathbf{L} \text{ região resultante da segmentação } watershed$$

Quadro 3.8 – Expressão para o Cálculo da Área das Regiões

O cálculo dos centróides (centro de massa dos objectos) de um objecto solar é feito com base no rácio das coordenadas dos pontos constituintes da região considerada como possível mancha solar e a área do mesmo objecto.

$$C_x = \frac{\sum_{i \in L} x_i}{Area} \quad C_y = \frac{\sum_{i \in L} y_i}{Area}$$

Quadro 3.9 – Expressão para o Cálculo dos Centróides das Regiões

A dimensão do vector de características depende do número de regiões identificadas pela transformada *watershed*, e o número de regiões identificadas depende da imagem. Esse número, nas imagens estudadas, situa-se entre as três dezenas de milhar e a centena de milhar (ver tabela 3.1).

Nome da Imagem	Regiões <i>Watershed</i> Identificadas
k1v_01_02_01_12h_03	30627
k1v_02_01_01_10h_04	27521
k1v_02_06_81_15h_01_E_C	91518
k1v_03_02_94_11h_39_E_E	65796
k1v_03_02_01_11h_49	34305
k1v_03_11_00_09h_55	27498
k1v_05_06_82_08h_55_E_C	105561
k1v_06_01_01_12h_45	33534
k1v_06_10_83_14h_36_E_C	83883
k1v_07_01_01_11h_33	26563
k1v_07_02_01_11h_49	29011
k1v_08_02_01_12h_03	47700
k1v_09_11_01_10h_25	89392
k1v_10_02_01_15h_37	26313
k1v_10_06_84_11h_54_E_C	91016
k1v_10_12_99_10h_16	28153
k1v_11_01_01_10h_27	27796
k1v_11_02_01_09h_35	33765
k1v_12_01_01_09h_33	36391
k1v_12_06_81_09h_14_E_C	91882
k1v_19_09_92_15h_28_E_C	89067
k1v_20_06_01_09h_21	27231
k1v_20_12_99_14h_32	28169
k1v_28_06_81_08h_37_E_C	95565
k1v_30_04_82_10h_04_E_C	91238

Tabela 3.1 – Número de Regiões *Watershed* Identificadas nas Imagens

Esse número pode ser alterado pela aplicação de métodos de controlo de sobre segmentação, referenciados anteriormente, mas manterá a ordem de grandeza das dezenas de milhar. No entanto, a análise de todas as regiões identificadas seria, em tempo de computação, extremamente demorado. Por

esse facto, faz-se uma análise de apenas 300 regiões. A escolha deste número prende-se com duas situações. A primeira tem a ver com o número máximo de manchas solares (número de *Wolf*) contabilizadas numa imagem solar até ao momento, que foi de cerca de 250 manchas solares (ver figura 2.4). O número de objectos solares é inferior [21]. A segunda tem a ver com uma característica da transformada *watershed* implementada no MATLAB, que é a forma como são atribuídas as *labels* às regiões *watershed*. Foi verificado que as *labels* com número mais baixo são atribuídas às regiões mais escuras, pelo que se se analisarem as 300 primeiras *labels* serão identificadas as manchas solares existentes na imagem.

O processo de classificação das regiões *watershed* em manchas solares, ou não, começa pela análise das 300 primeiras *labels* retornadas pela transformada *watershed*. A partir dessa análise, é então contruído o vector de características, e identificadas quais as *labels* que representam o fundo da imagem. A partir das regiões que identificam o fundo da imagem, é construída uma imagem, a retornar à função principal da aplicação, que contém apenas o fundo da imagem do Sol. Sobre o vector de características, variável da combinação das características analisadas, é verificado o valor máximo. Isto permite verificar entre que valores variam os seus elementos. É então definido um *threshold*, que será a condição para a decisão de detecção de possível mancha solar. Esse *threshold* é a centésima parte do valor máximo do vector de características. Considera-se, assim, que apenas regiões com níveis de cinzento suficientemente escuros e com dimensões observáveis possam ser possíveis manchas solares.

O passo seguinte consiste em construir a imagem de saída com os objectos solares. É verificada a área e o nível médio de cinzento da região número dois até ao limite máximo de regiões analisadas. A primeira região é descartada, pois representa sempre o fundo da imagem. O valor da combinação das duas características de cada região é comparado com o nível de decisão. Se a sua combinação satisfaz a condição, a região representada por essa *label* é considerada uma mancha solar. Por fim, são colocados os pixéis dessa região na imagem de saída dos objectos solares. Caso a região não satisfaça a condição, os pixéis seleccionados não serão colocados na imagem de saída dos objectos solares. O processo termina quando todas as regiões previamente analisadas forem comparadas com o nível de decisão.

A figura 3.28 ilustra a primeira fase do processo de classificação, fase essa que, como foi demonstrado, cria uma imagem com as regiões com condições, no âmbito do processamento digital de imagem, de representarem manchas solares. A fase seguinte do processo de classificação terá em conta algumas das características das manchas solares conhecidas, como a sua localização e dimensão.

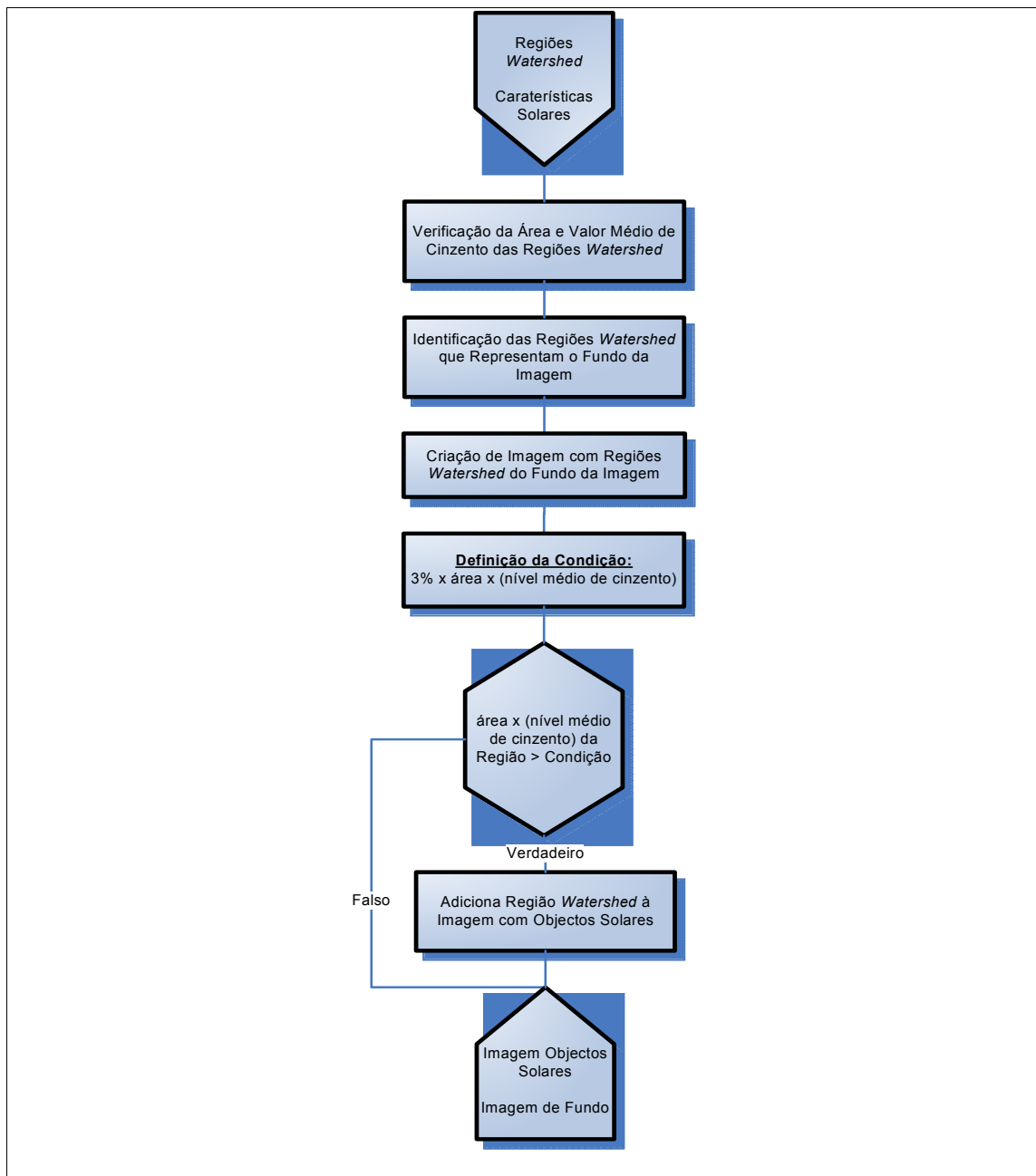


Figura 3.28 – Algoritmo da Fase I da Classificação

O valor da área calculada até aqui tem como base uma imagem plana; no entanto, há que considerar a esfericidade da superfície do Sol. Para considerar esse requisito, há que fazer a correcção para uma superfície esférica, nomeadamente ao valor da área dos objectos solares. A correcção tem em conta a posição do objecto solar relativamente ao centro do sol, pela razão de que os objectos na periferia do Sol aparentam ser menores do que na realidade são.



Figura 3.29 – Efeito da esfericidade do Sol numa imagem [17]

Além disso, os astrónomos consideram que um objecto solar apenas é considerado mancha solar se a sua área corrigida for superior a seis MSH (*millionths of the solar hemisphere*) do hemisfério visível do Sol. Os objectos com valores inferiores são considerados ruído na observação.

$$A_M = \frac{A_S \cdot 10^6}{2\pi \cdot R^2 \cos(\rho)}$$

A_M – Área em *Millionths* das manchas solares do hemisfério visível do Sol
 A_S – Área medida das manchas solares (em pixéis)
 R – Raio do Sol (em pixéis)
 ρ – Distância angular na superfície do sol do centro do sol à mancha solar

Quadro 3.10 – Área em Millionths do Hemisfério Visível do Sol

Esta função tem como objectivo analisar os objectos solares classificados anteriormente. São feitas duas análises às características das manchas solares; a primeira é a dimensão e a segunda é a localização. Em relação à primeira, é prática comum não serem considerados os objectos solares cujo valor em MSH do hemisfério visível do Sol seja inferior a 7 [3]. Objectos com dimensões inferiores podem ser facilmente confundíveis com ruído na observação. Além disso, os objectos com essa ordem de grandeza, quando existem, significam uma muito pequena actividade solar. Essa actividade solar poderá estar a aumentar ou a diminuir. Para ter essa conclusão é necessário analisar imagens anteriores e posteriores à actual. A segunda análise é baseada em estudos já realizados e que confirmam a inexistência de manchas solares acima dos 45° de latitude e abaixo dos 45° de latitude.

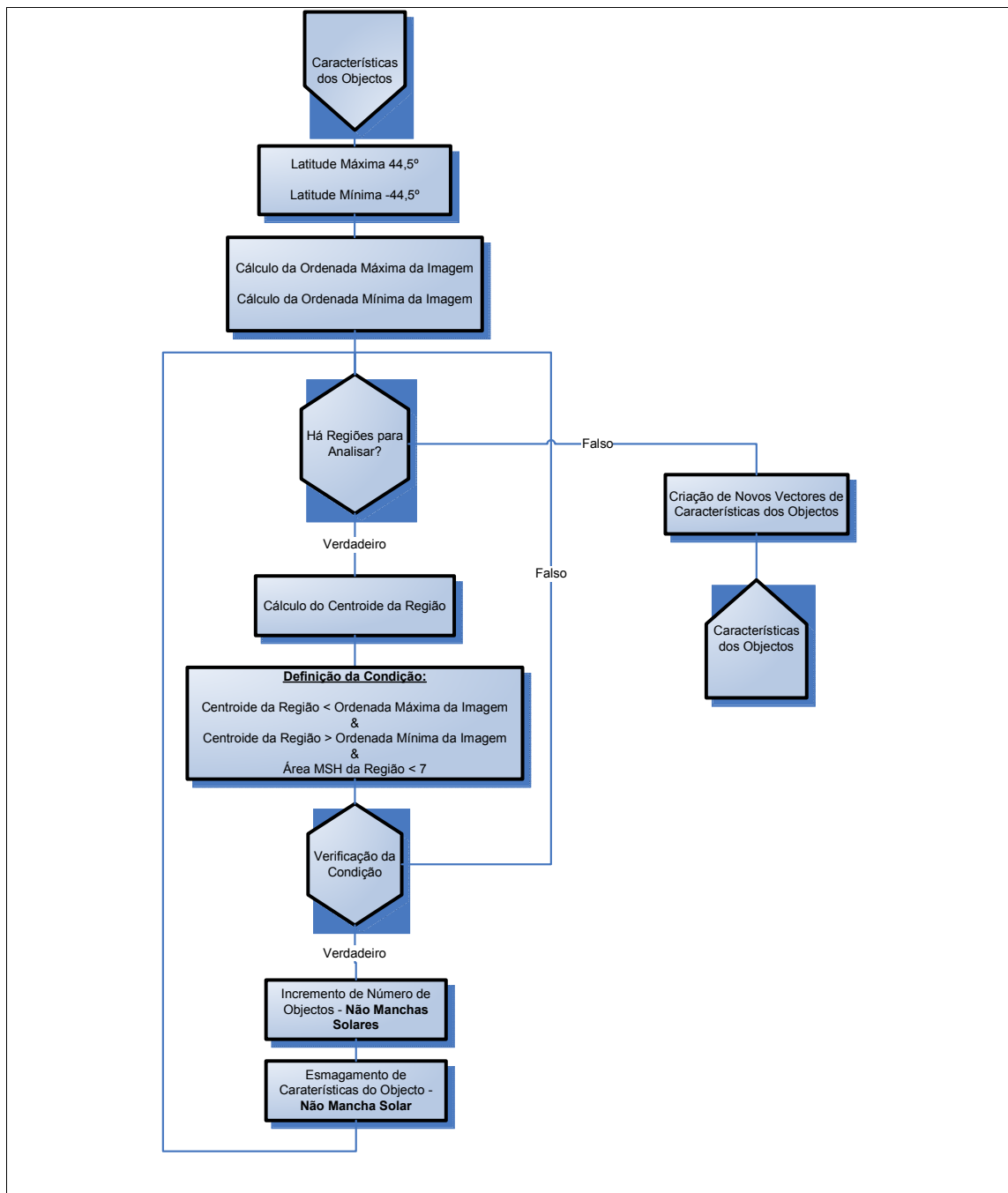


Figura 3.30 – Algoritmo da Fase II da Classificação

Fazendo estas análises, são removidos os objectos solares que não cumprem os dois requisitos analisados. Isto faz com que a informação nos vectores referentes aos objectos não considerados seja eliminada, retirando aos vectores os elementos que não cumpram os requisitos para serem considerados manchas solares.

4. Geração de Resultados

A última parte da aplicação consiste na geração de resultados. É a partir deles que se possibilita o estudo sobre as manchas solares.

A aplicação gera três imagens representativas do processo de detecção de manchas solares e a sua respectiva identificação: a imagem do sol resultante da classificação; a imagem com as manchas solares representadas pelos seus centroides e contornos; e a imagem com manchas solares representadas com cor sobre a imagem original. Nas últimas duas, as manchas solares são identificadas de 1 ao número de manchas solares detectadas. Para os objectos eliminados, durante a fase de reclassificação, são indicadas as coordenadas desses objectos na mesma imagem com manchas solares representadas com cor sobre a imagem original. A escolha destas imagens possibilita a um utilizador externo, além de efectuar estudos sobre as manchas solares, entender as características das manchas solares e as razões da identificação, ou não, dos objectos solares como manchas solares.

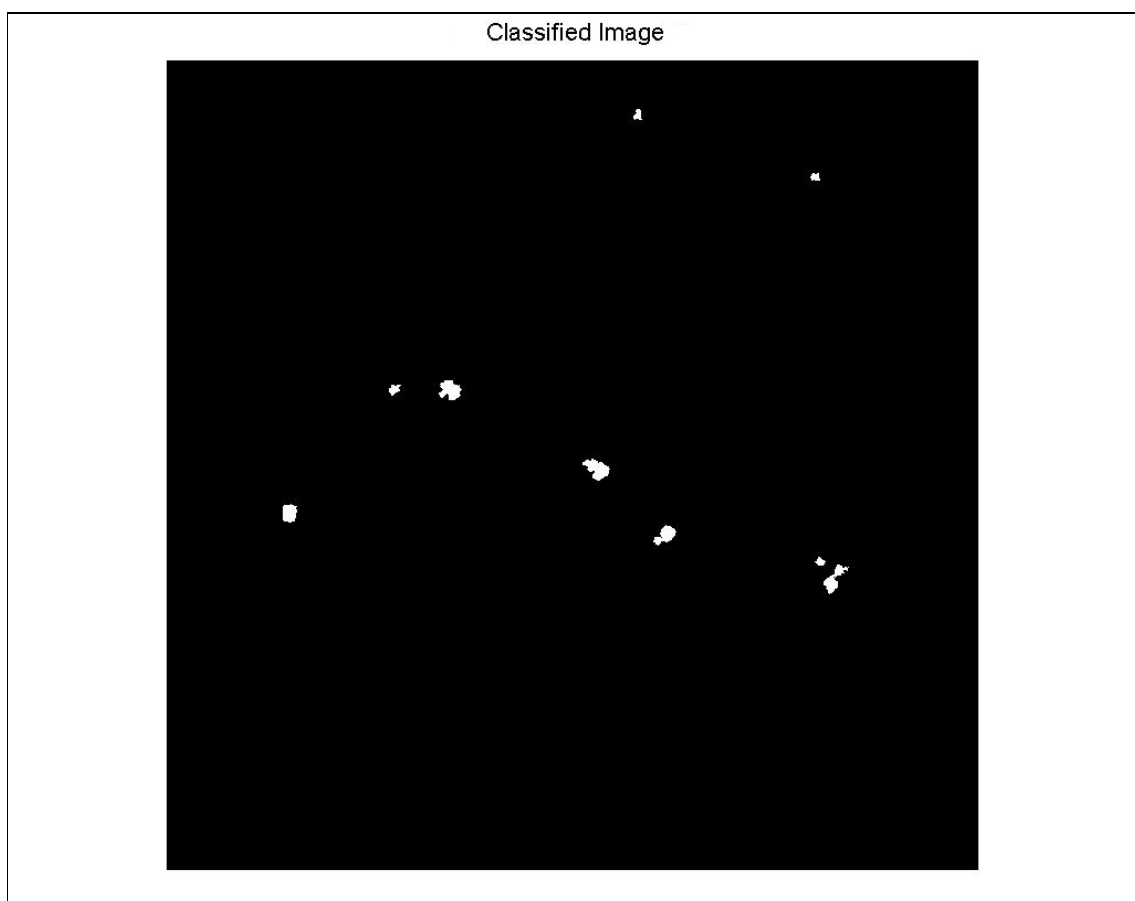


Figura 3.31 – Imagens Resultantes da Aplicação para Imagem Original com Marcas: imagem resultante da classificação

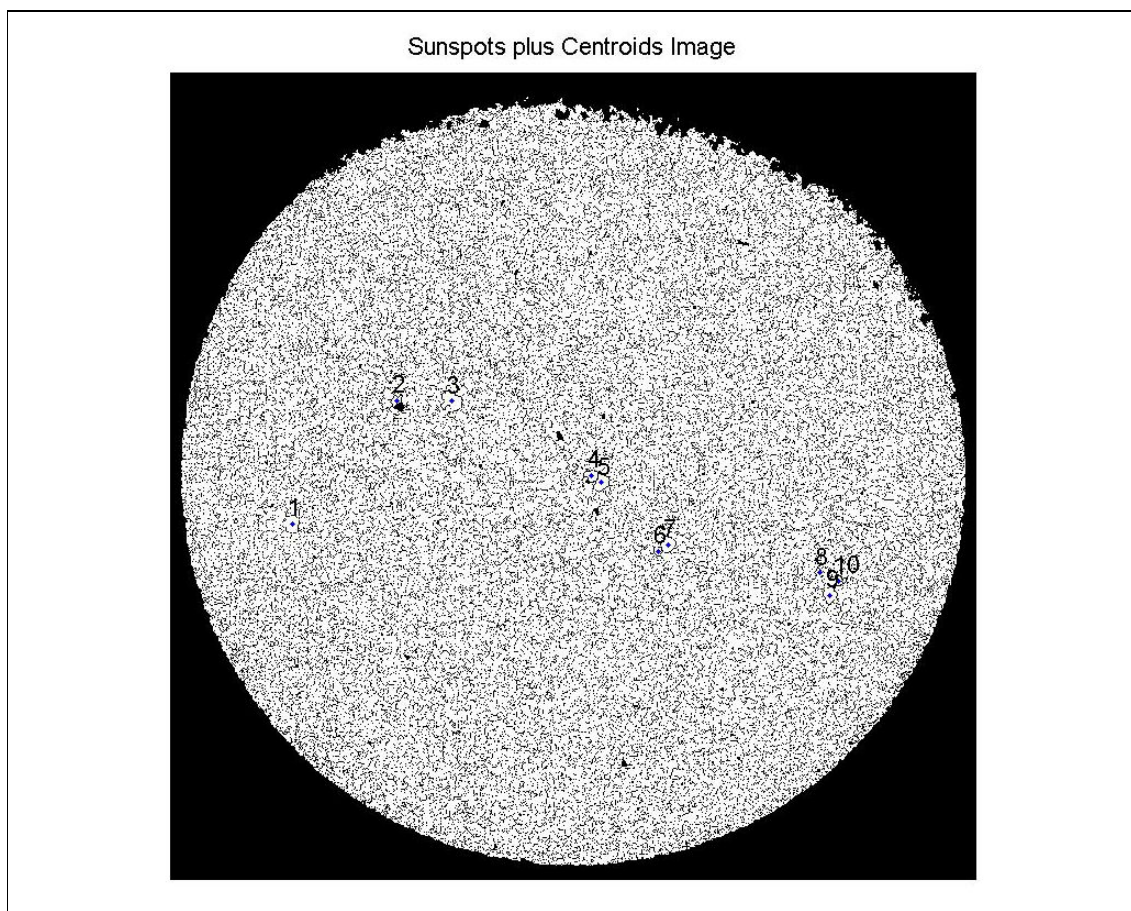


Figura 3.32 – Imagens Resultantes da Aplicação para Imagem Original com Marcas: imagem com as manchas solares representadas pelos seus centroides e contornos

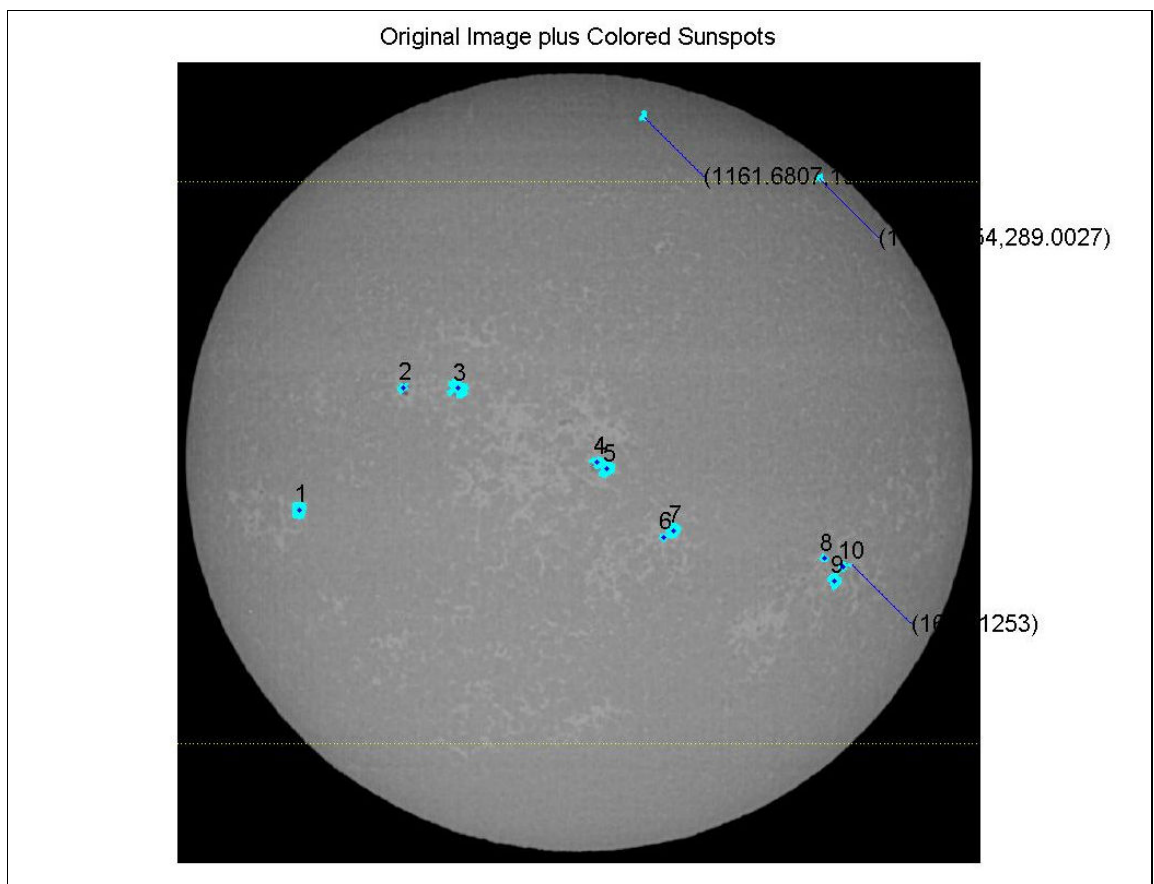


Figura 3.33 – Imagens Resultantes da Aplicação para Imagem Original com Marcas: imagem com manchas solares representadas com cor sobre a imagem original

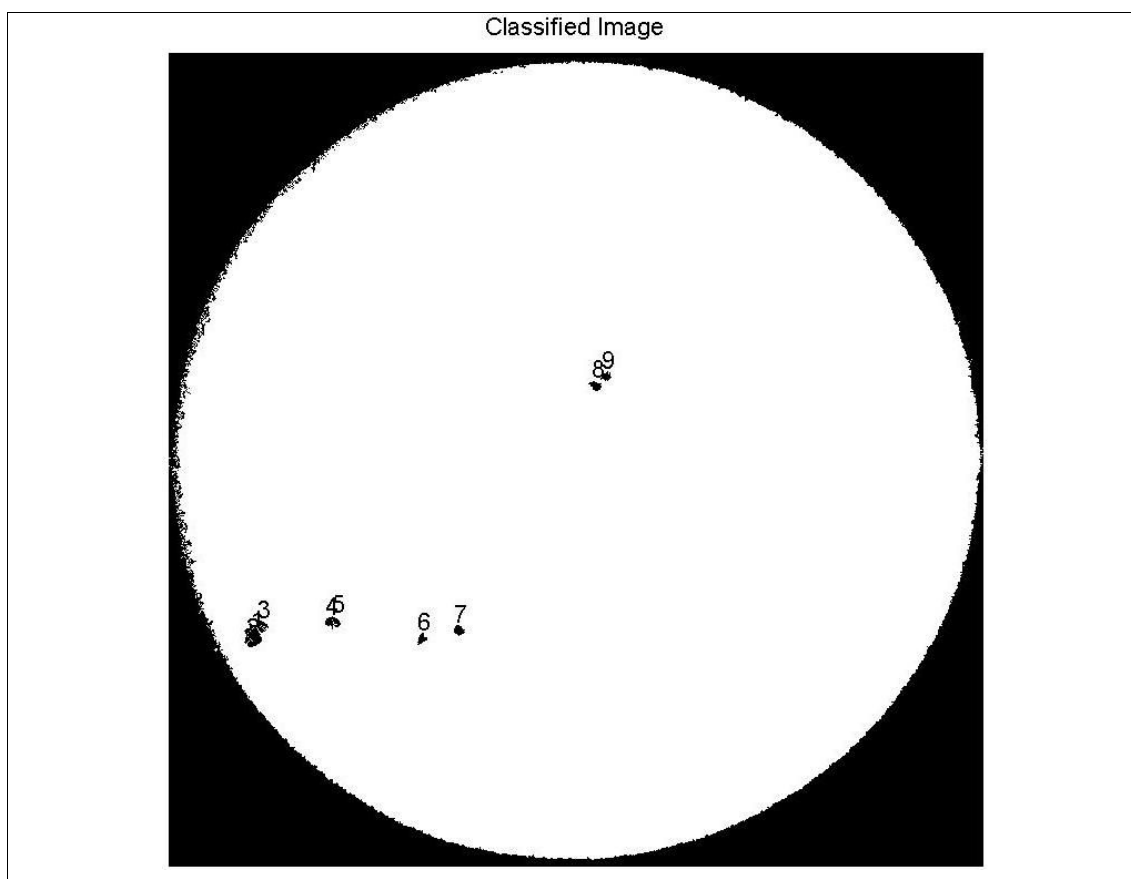


Figura 3.34 – Imagens Resultantes da Aplicação para Imagem Original sem Marcas: imagem resultante da classificação

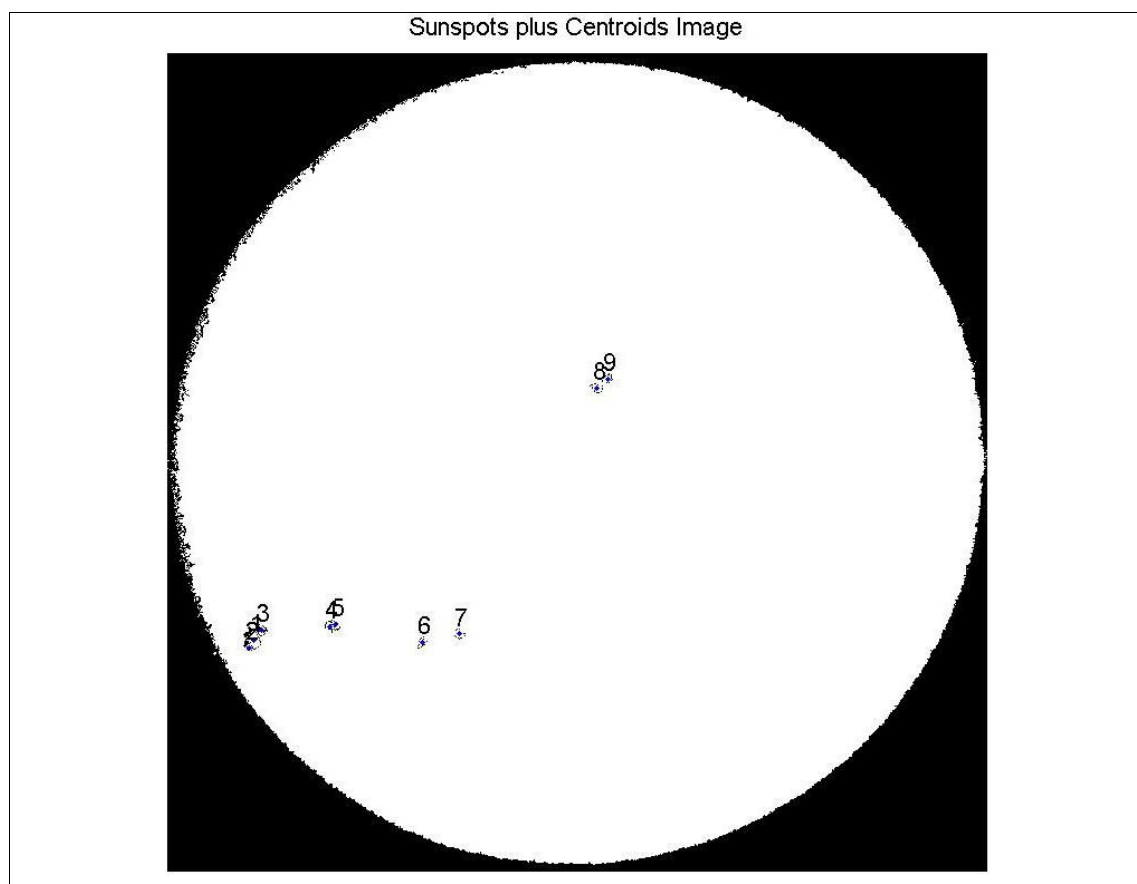


Figura 3.35 – Imagens Resultantes da Aplicação para Imagem Original sem Marcas: imagem com as manchas solares representadas pelos seus centroides e contornos

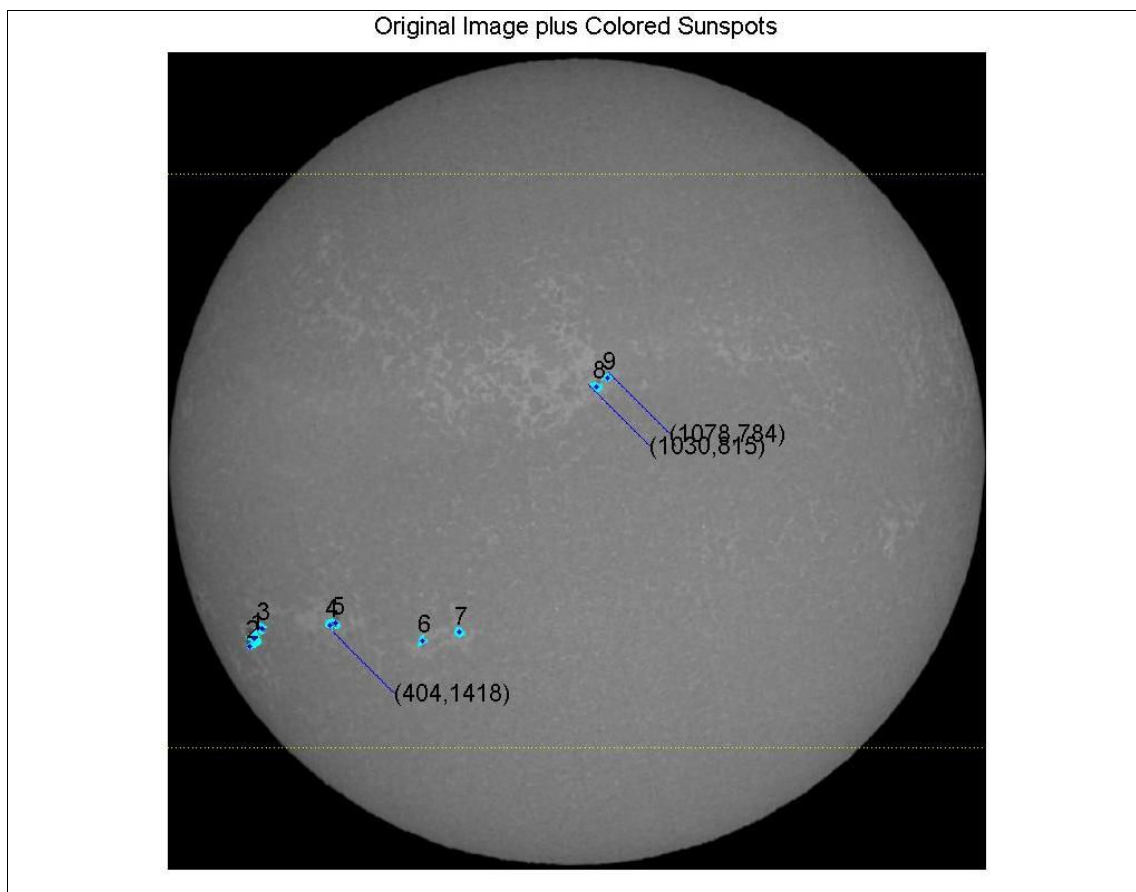


Figura 3.36 – Imagens Resultantes da Aplicação para Imagem Original sem Marcas: imagem com manchas solares representadas com cor sobre a imagem original

Nas figuras 3.31 a 3.33 e 3.34 a 3.36, estão colocadas por ordem as seguintes imagens do sol: a imagem resultante da classificação; a imagem com as manchas solares representadas pelos seus centroides e contornos; e a imagem com manchas solares representadas com cor sobre a imagem original. Nas imagens com manchas solares representadas com cor sobre a imagem original estão marcadas duas linhas descontínuas de cor amarela. Essas linhas simbolizam o limite até onde será possível encontrar manchas solares, pois, como já foi referido no capítulo 2, os estudos já realizados confirmam a inexistência de manchas solares acima dos 45° de latitude e abaixo dos 45° de latitude

Além das 3 imagens atrás referidas, é criado um ficheiro com os dados das simulações para imagem recebida pela aplicação. O objectivo é colocar num ficheiro de texto, em formato TXT, os dados referentes às manchas solares. Esses dados são um número identificador que surge igualmente nas imagens resultantes da aplicação, o nome do ficheiro da imagem de entrada, data e hora em que foi recolhida a imagem, o número de manchas solares detectadas, o valor da área em pixéis e em MSH e a localização através do centroide da mancha solar. Como se pode observar na figura 3.37, além dos dados astronómicos são também inseridos no ficheiro dados referentes à imagem, como sejam o tipo de imagem, a hora e a data em que foi recolhida.

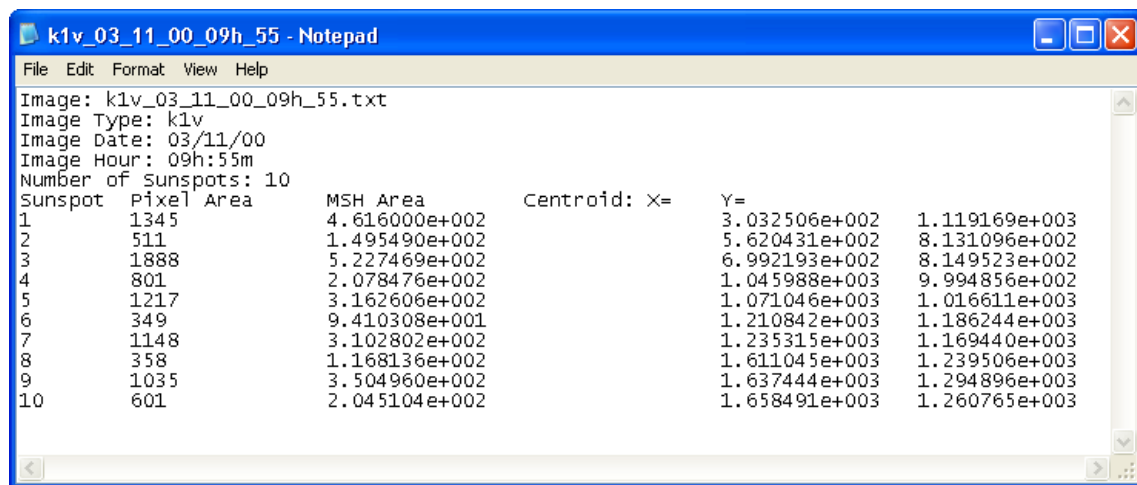


Figura 3.37 – Formato do Ficheiro de Texto Gerado

5. Análise de Resultados

I. Resultados Obtidos

Neste último capítulo são apresentados os resultados obtidos para as condições de simulação relatados anteriormente. Os resultados permitem validar, ou não, a aplicação como ferramenta de trabalho sólida no estudo da actividade solar.

Para cada uma das 25 imagens de teste analisadas são apresentados os seguintes valores: o número de manchas solares detectadas, a área total das manchas em pixéis e a área total das manchas em MSH. Os resultados estão na tabela 4.1.

Nome da Imagem	Manchas Solares	Área Total	Área MSH
k1v_01_02_01_12h_03	3	1348	459
k1v_02_01_01_10h_04	4	2572	838
k1v_02_06_81_15h_01_E_C	3	3105	569
k1v_03_02_94_11h_39_E_E	5	2065	665
k1v_03_02_01_11h_49	5	1653	311
k1v_03_11_00_09h_55	10	7942	2327
k1v_05_06_82_08h_55_E_C	4	5486	1117
k1v_06_01_01_12h_45	3	2415	950
k1v_06_10_83_14h_36_E_C	10	3352	644
k1v_07_01_01_11h_33	6	3237	1132
k1v_07_02_01_11h_49	10	5126	1409
k1v_08_02_01_12h_03	3	1952	519
k1v_09_11_01_10h_25	26	10132	3152
k1v_10_02_01_15h_37	6	5428	1570
k1v_10_06_84_11h_54_E_C	2	290	67
k1v_10_12_99_10h_16	7	7670	2347
k1v_11_01_01_10h_27	12	5879	1649
k1v_11_02_01_09h_35	4	3571	982
k1v_12_01_01_09h_33	14	8191	2251
k1v_12_06_81_09h_14_E_C	12	5243	1000
k1v_19_09_92_15h_28_E_C	5	2552	505
k1v_20_06_01_09h_21	20	12299	3505
k1v_20_12_99_14h_32	10	11323	3681
k1v_28_06_81_08h_37_E_C	9	7426	1406
k1v_30_04_82_10h_04_E_C	8	3701	747

Tabela 4.1 – Resultados Obtidos no Conjunto de Imagens Analisadas

A título de exemplo, nas figuras 4.1 a 4.3 podem ver-se 3 imagens resultantes da aplicação.

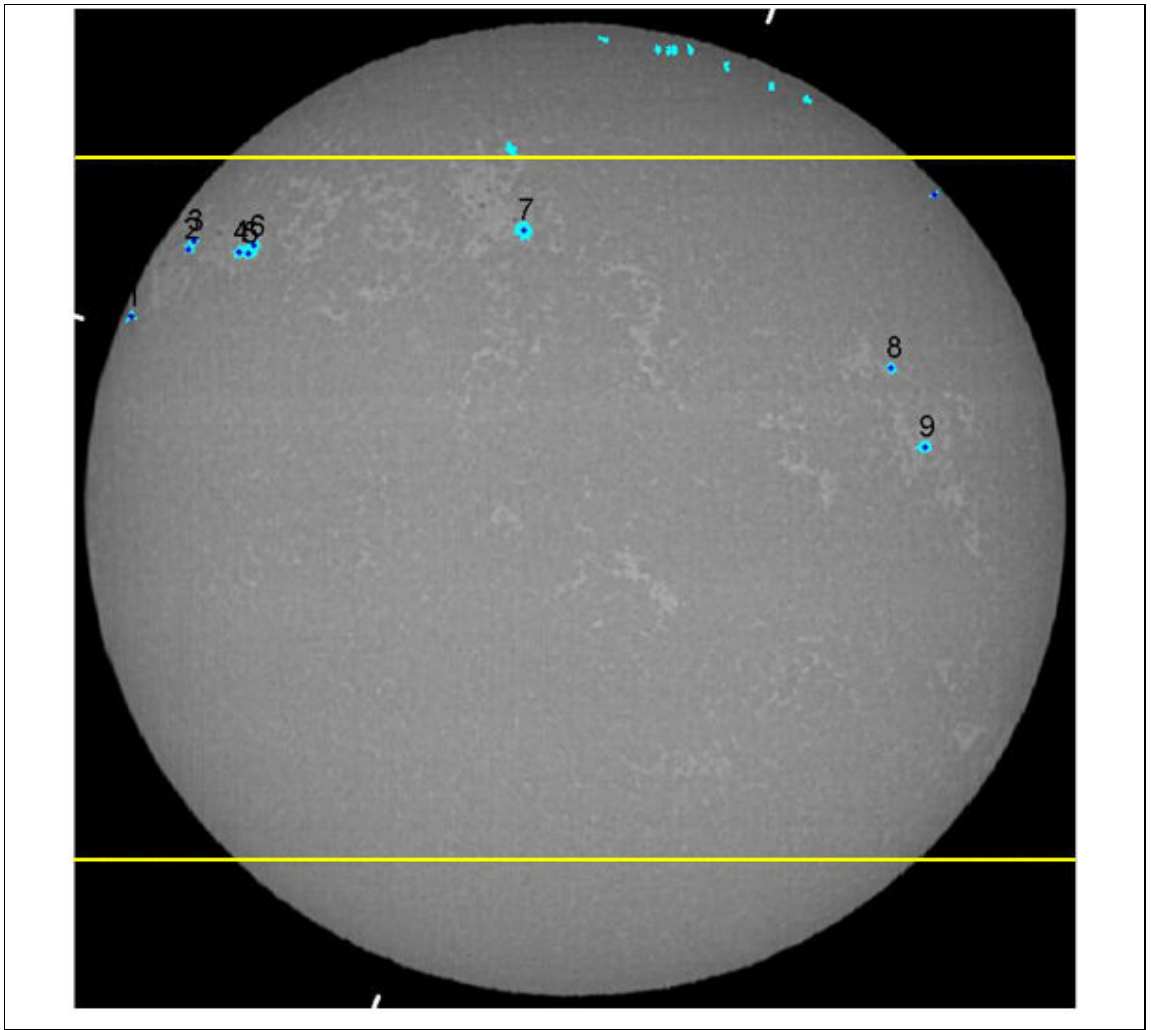


Figura 4.1 – Imagens Resultantes da Aplicação: k1v_03_02_01_11h_49_soo.jpg

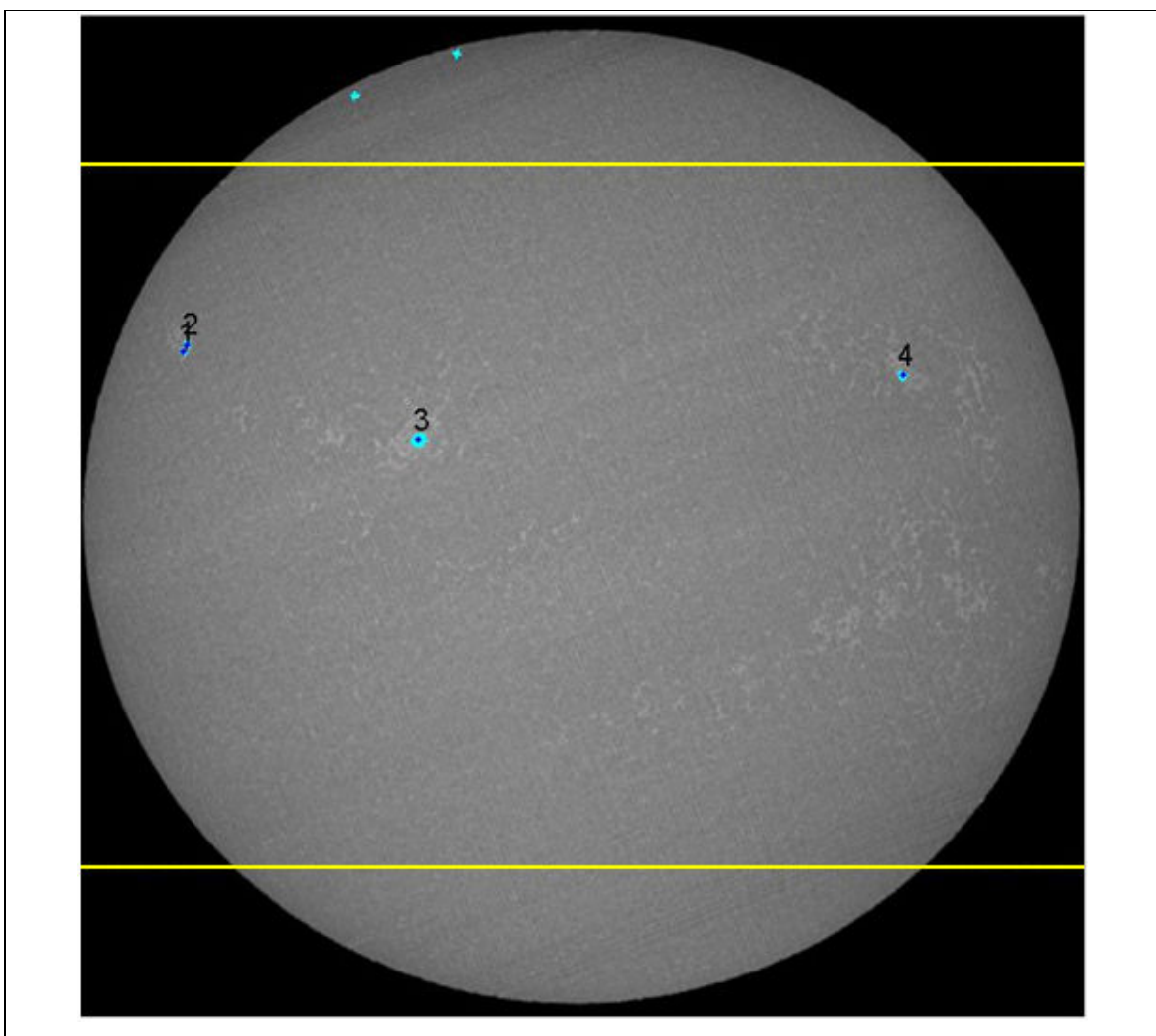


Figura 4.2 – Imagens Resultantes da Aplicação: k1v_03_02_94_11h_39_soo.jpg

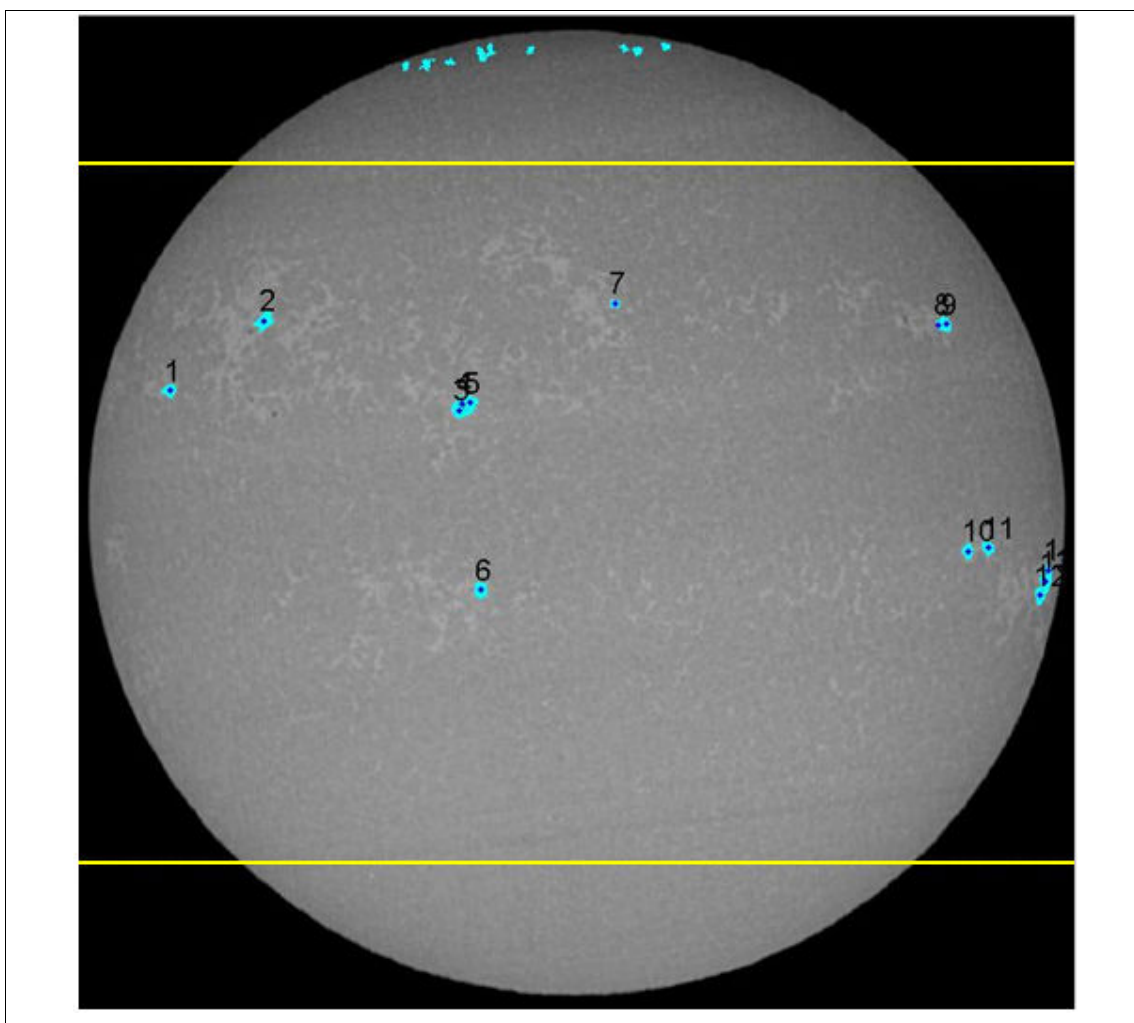


Figura 4.3 – Imagens Resultantes da Aplicação: k1v_07_01_01_11h_33_soo.jpg

Em relação às imagens das figuras 4.1 a 4.3 pode afirmar-se que estão identificadas as manchas solares existentes. Eventualmente, na imagem **k1v_07_01_01_11h_33_soo.jpg** talvez se pudesse assinalar mais uma mancha, junto às manchas **1** e **2**, e uma outra perto das manchas **8** e **9**. Há regiões coloridas nas imagens que não são consideradas manchas solares, provavelmente porque se encontram numa região onde não haverá actividade solar.

II. Comparação com os Resultados da Classificação Manual

Apesar da validação empírica, tal como foi feita no parágrafo anterior, o processo de validação requer uma outra análise. A validação destes resultados é feita com base na comparação com outros métodos de classificação de manchas solares. Para validar o número de manchas solares, apresenta-se a comparação com a classificação manual por parte de 2 utilizadores, um com sensibilidade na área da astronomia, e outro, leigo no assunto. Para a validação das áreas das manchas solares é utilizada a

classificação do utilizador não especialista na área astronómica, em conjunto com a aplicação MD3RI (*Manual Drusen Deposits Detection in Retina Images*). A referida aplicação foi desenvolvida por André Mora [39] da UNINOVA para a identificação de manchas na retina. A validação dos valores da área MSH está relacionada com o valor da área da mancha solar e a sua localização, pelo que serão considerados válidos os resultados se os das áreas também o forem.

Para um conjunto restrito de imagens, que foram analisados pelos vários métodos disponíveis, foram encontrados os resultados apresentados na tabela 4.2.

Nome da Imagem	Número de manchas		
	Software	Manual / Especialista	Manual / Não Especialista
k1v_03_11_00_09h_55	9	16	11
k1v_09_11_01_10h_25	33	28	23
k1v_10_12_99_10h_16	7	15	8
k1v_20_12_99_14h_32	11	22	13

Tabela 4.2 – Número de Manchas Solares pelos Diversos Métodos de Classificação

Nas figuras 4.4 a 4.15 podem ver-se as classificações pelos 3 métodos para as 4 imagens referidas na tabela 4.2. Estão colocadas pela seguinte ordem: primeiro, a classificação feita pela aplicação; segundo, a classificação feita por um utilizador especialista; e em terceiro, a classificação feita por um utilizador não especialista.

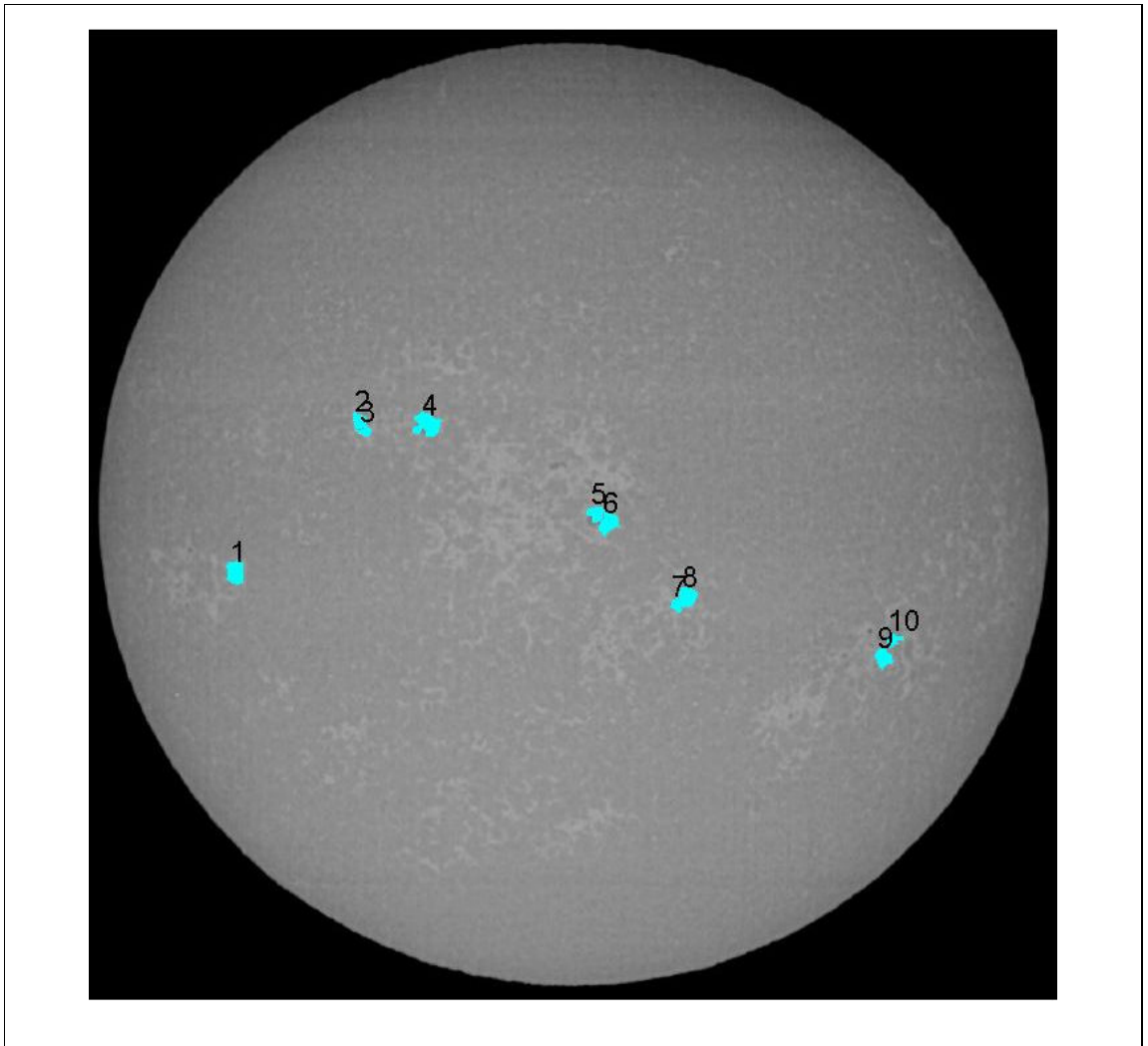


Figura 4.4 – Imagem **k1v_03_11_00_09h_55.tif** Classificada pelos Diversos Métodos de Classificação:
Automática

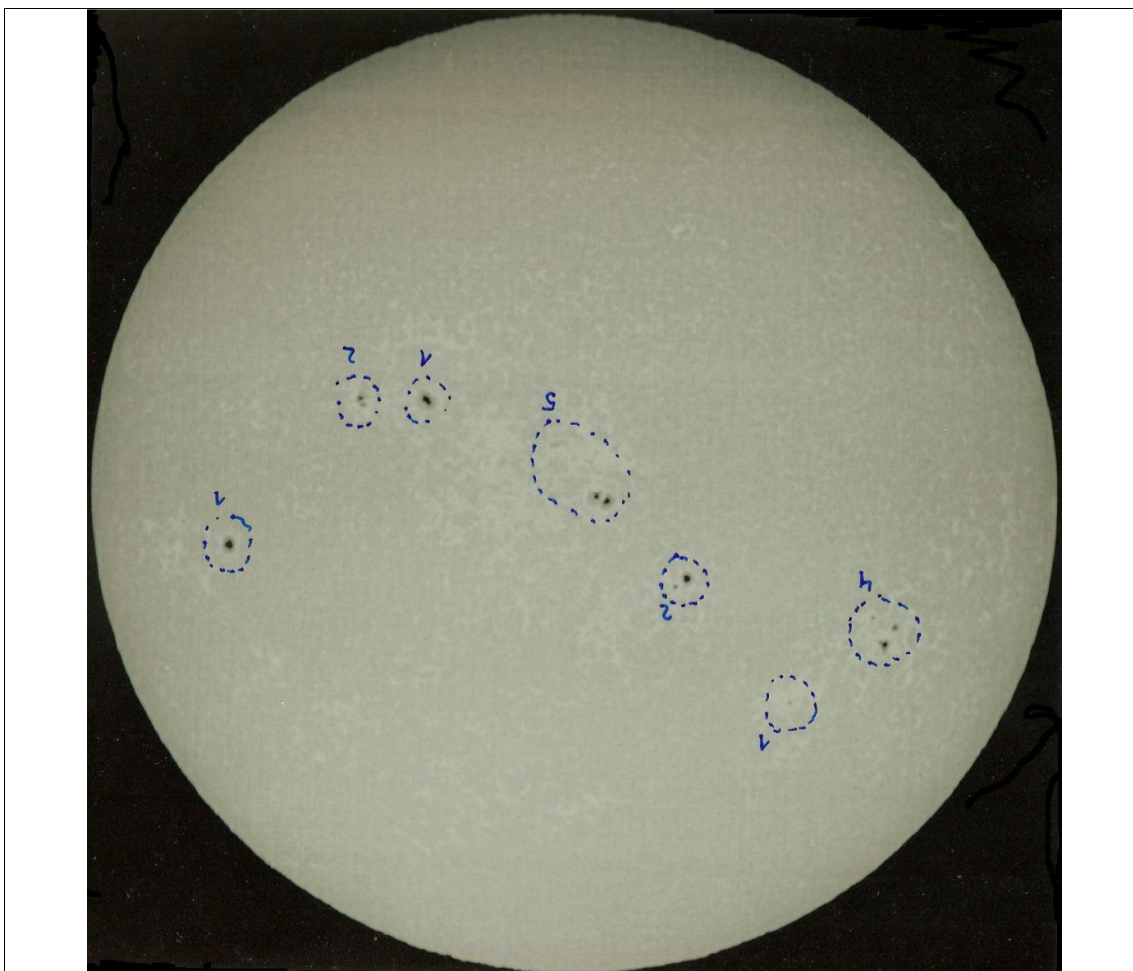


Figura 4.5 – Imagem **k1v_03_11_00_09h_55.tif** Classificada pelos Diversos Métodos de Classificação: Manual
por um Utilizador Especialista

Nota: A imagem foi classificada com o sentido Norte/Sul invertido.

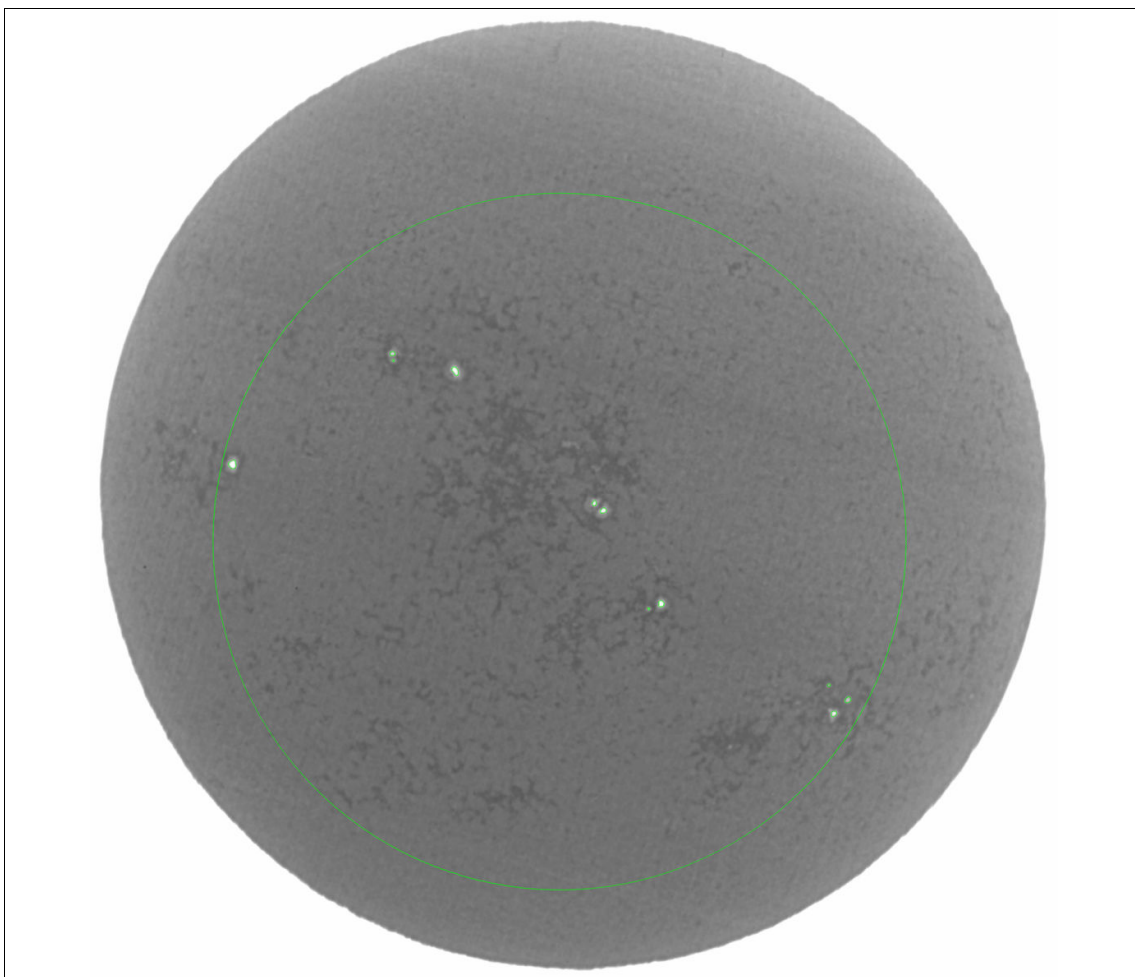


Figura 4.6 – Imagem **k1v_03_11_00_09h_55.tif** Classificada pelos Diversos Métodos de Classificação: Manual por um Utilizador Não Especialista

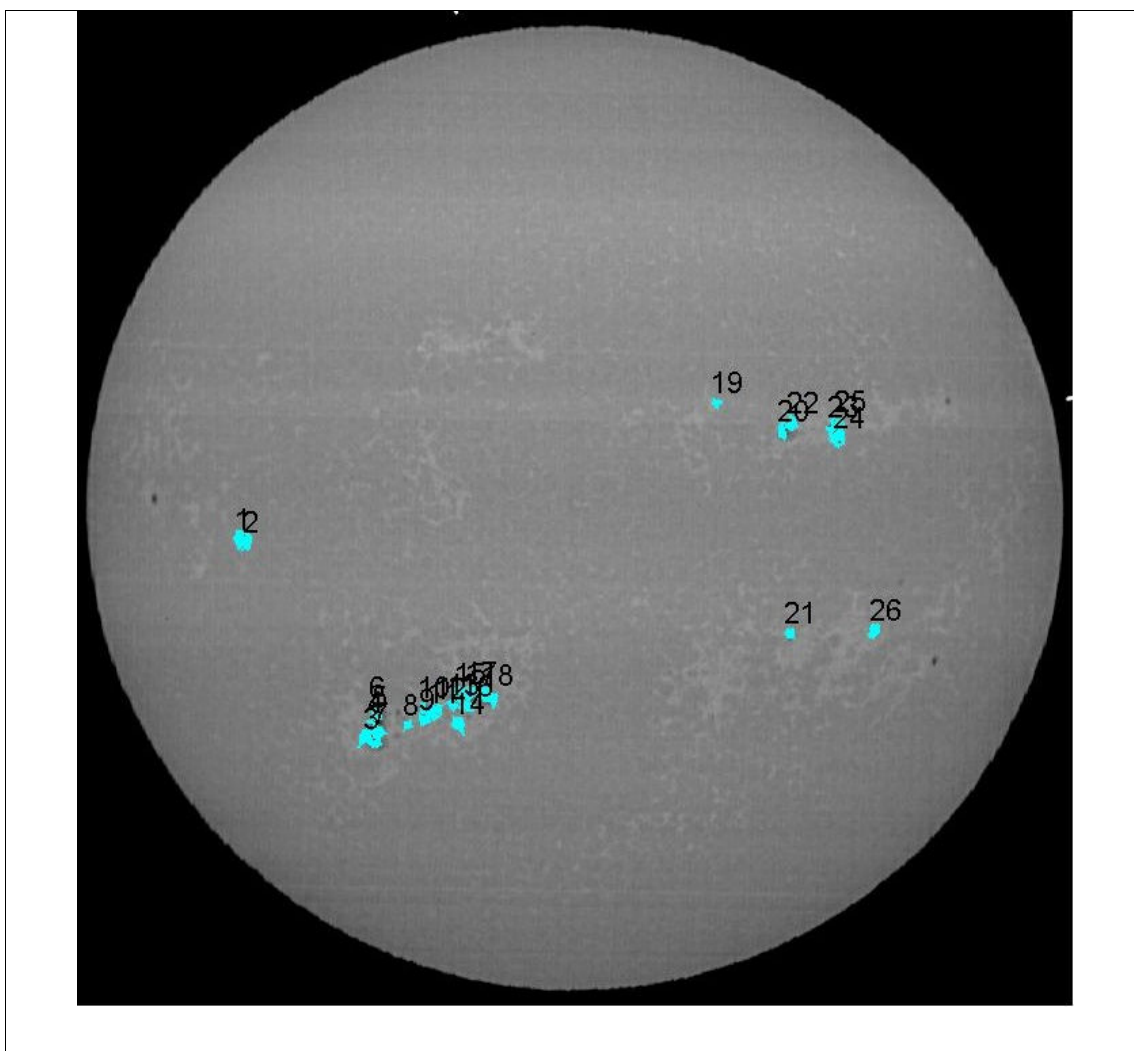


Figura 4.7 – Imagem k1v_09_11_01_10h_25.tif Classificada pelos Diversos Métodos de Classificação:
Automática

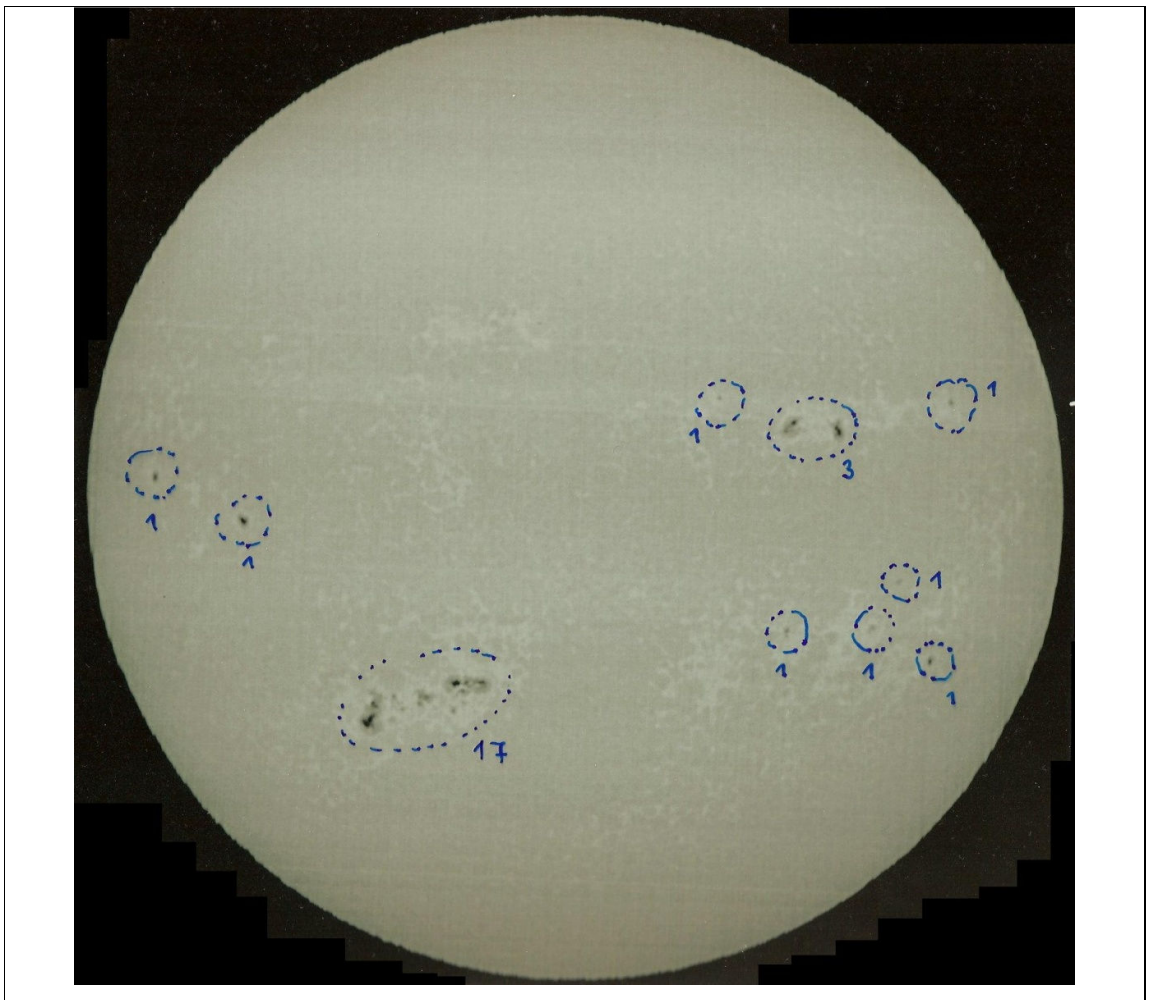


Figura 4.8 – Imagem **k1v_09_11_01_10h_25.tif** Classificada pelos Diversos Métodos de Classificação: Manual por um Utilizador Especialista

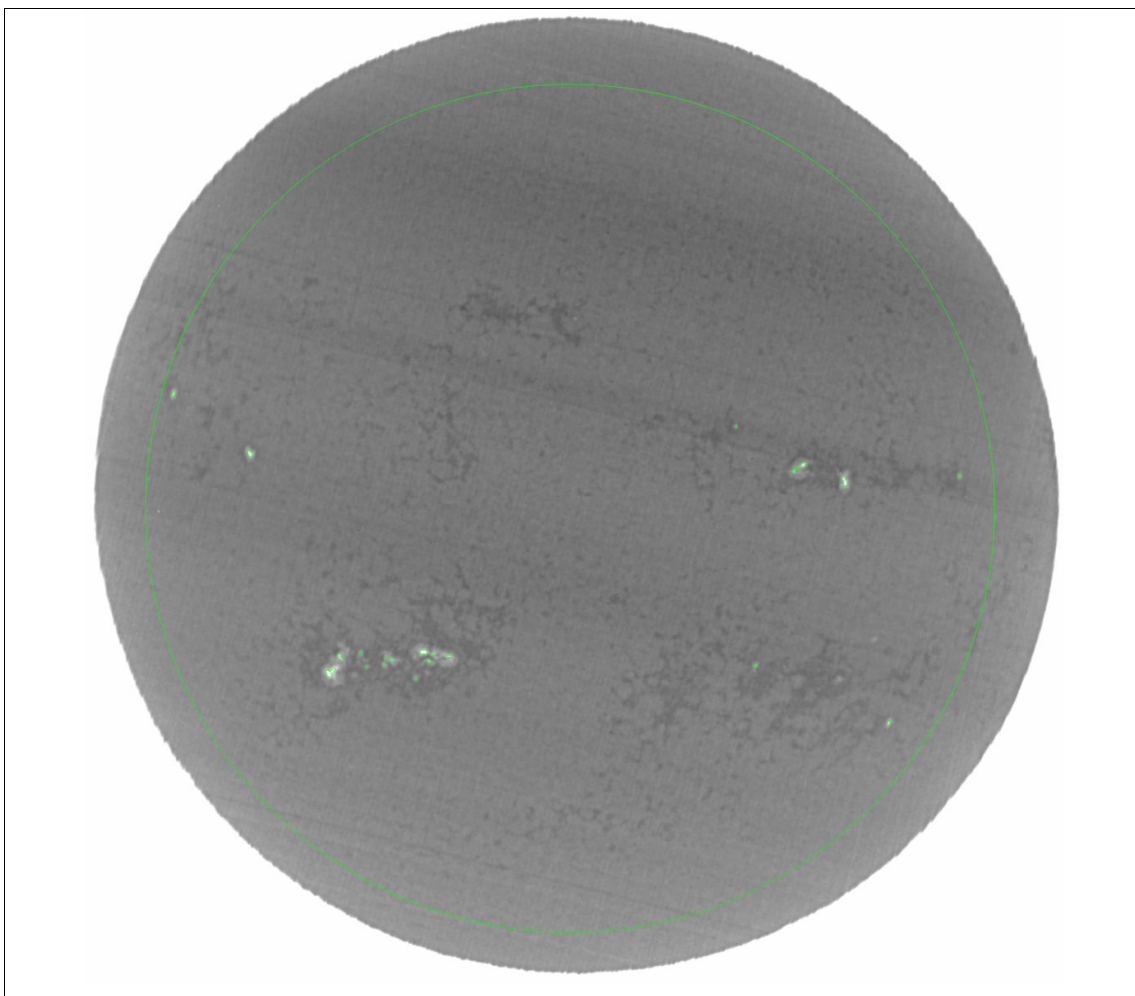


Figura 4.9 – Imagem **k1v_09_11_01_10h_25.tif** Classificada pelos Diversos Métodos de Classificação: Manual por um Utilizador Não Especialista

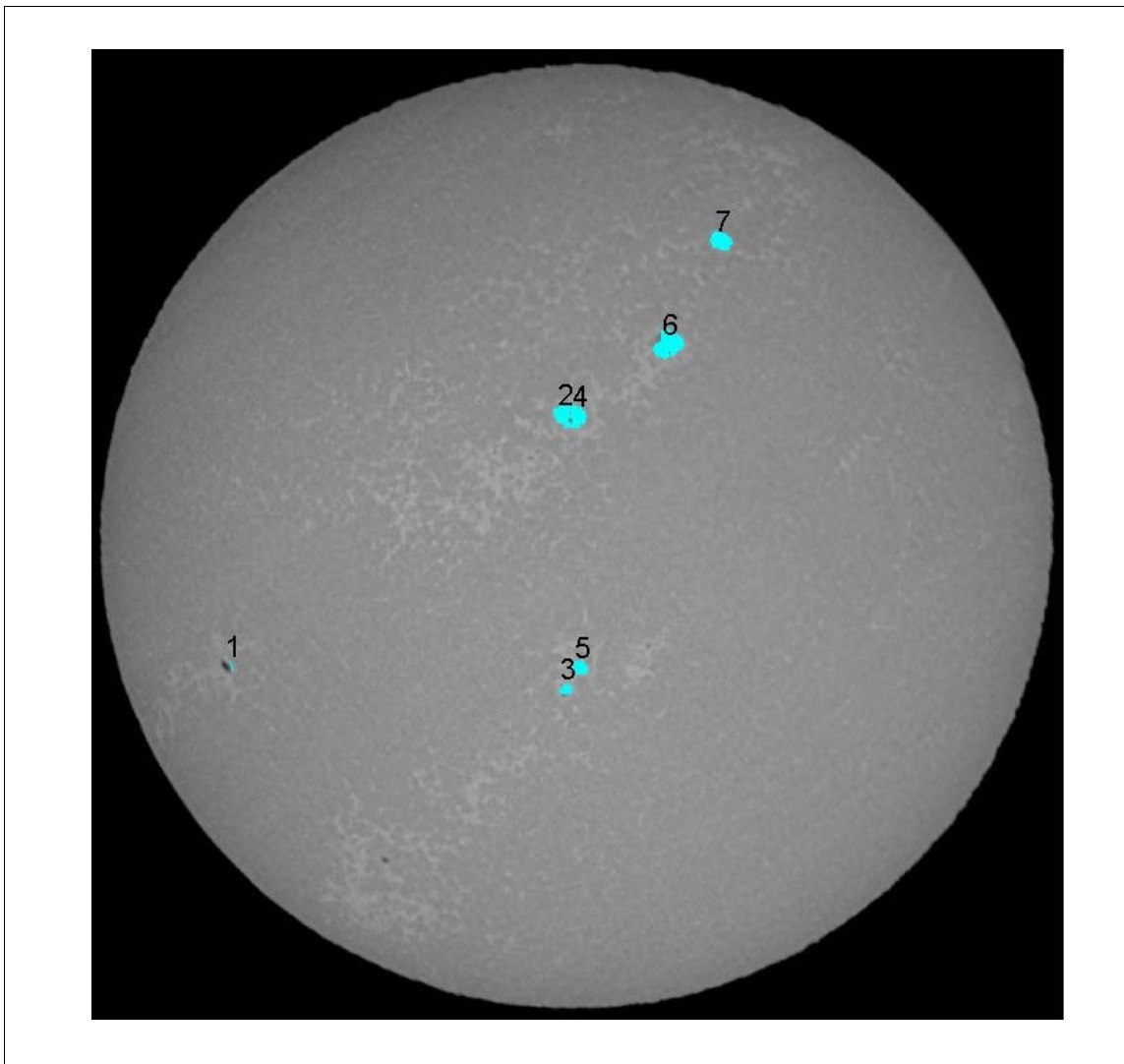


Figura 4.10 – Imagem **k1v_10_12_99_10h_16.tif** Classificada pelos Diversos Métodos de Classificação:
Automática

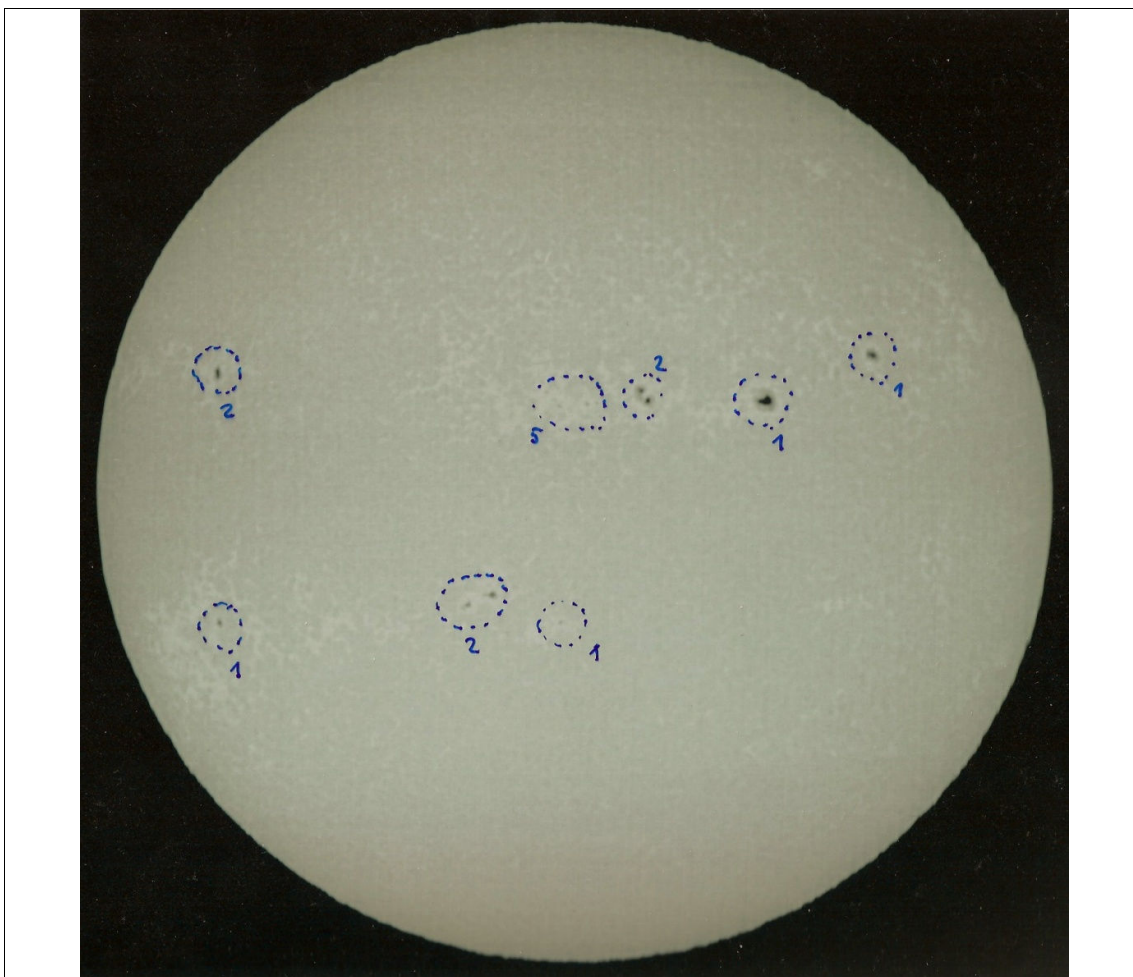


Figura 4.11 – Imagem **k1v_10_12_99_10h_16.tif** Classificada pelos Diversos Métodos de Classificação: Manual por um Utilizador Especialista

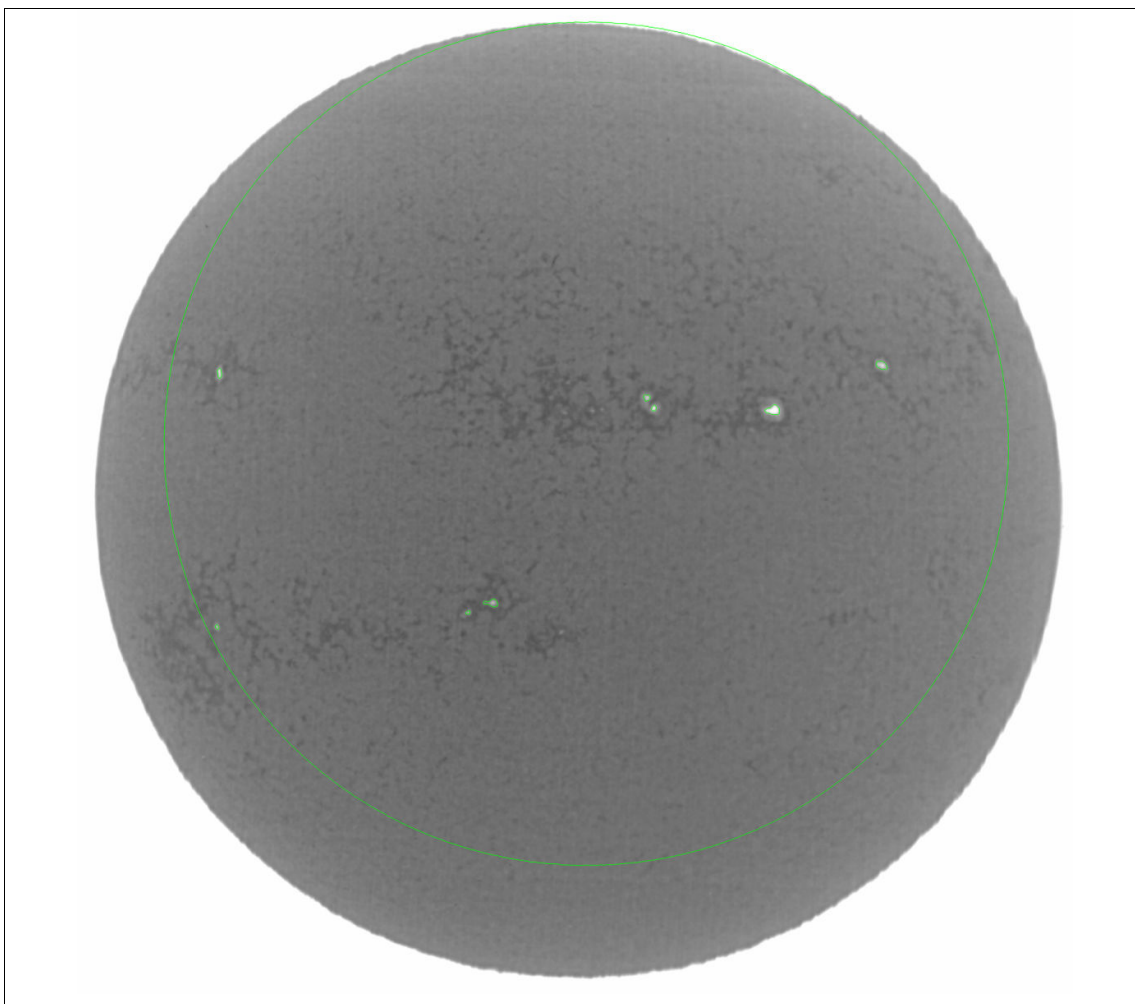


Figura 4.12 – Imagem **k1v_10_12_99_10h_16.tif** Classificada pelos Diversos Métodos de Classificação: Manual por um Utilizador Não Especialista

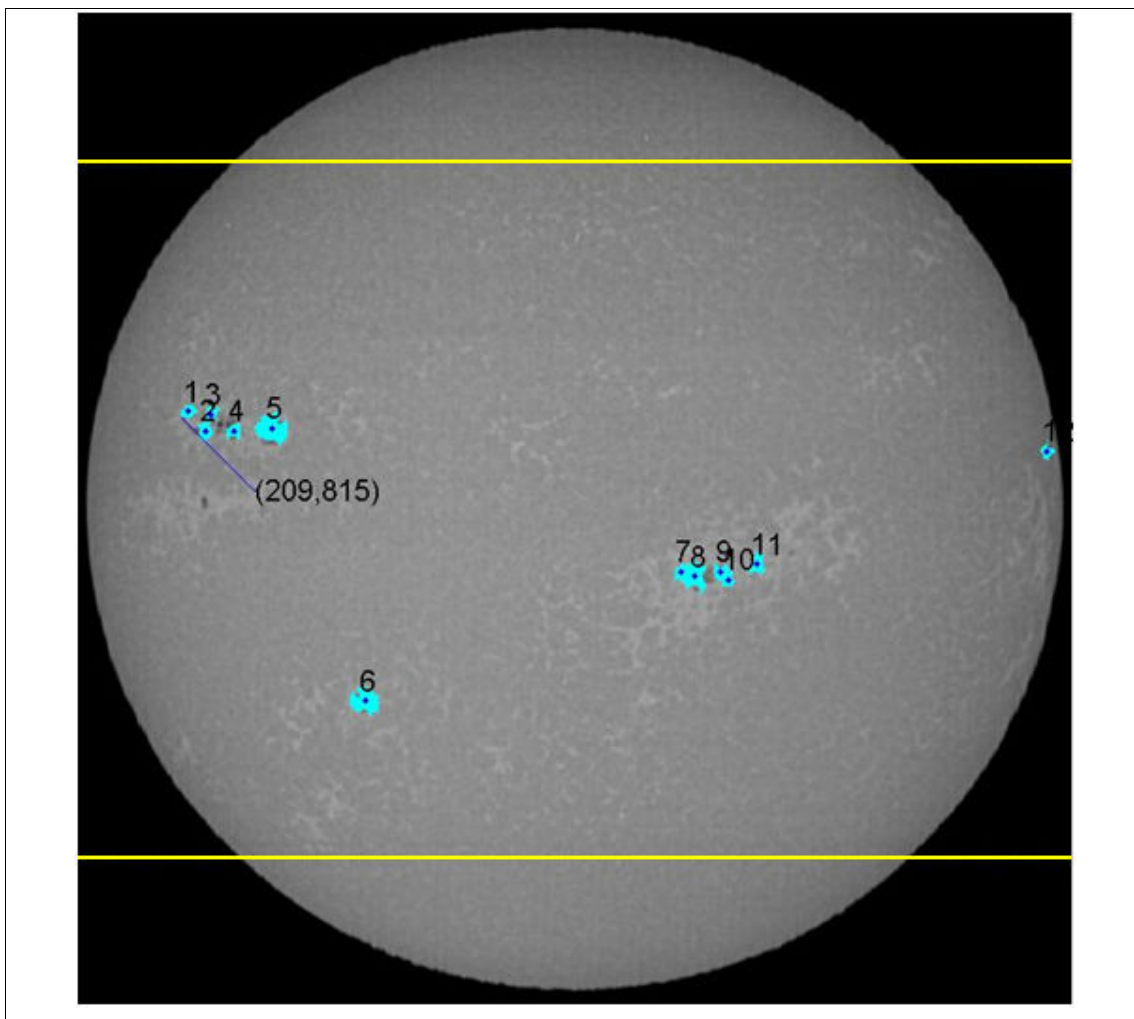


Figura 4.13 – Imagem k1v_20_12_99_14h_32.tif Classificada pelos Diversos Métodos de Classificação:
Automática

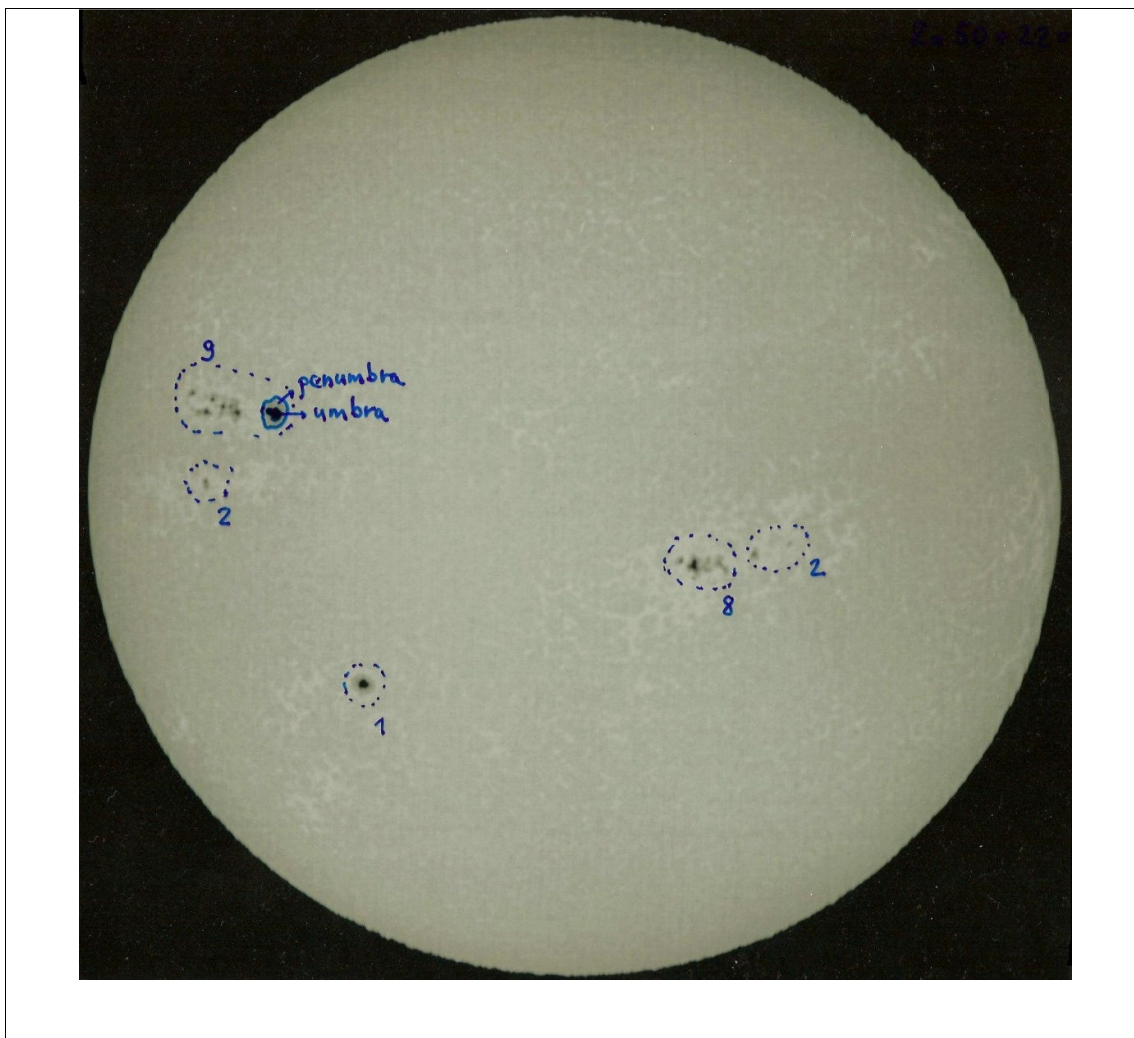


Figura 4.14 – Imagem k1v_20_12_99_14h_32.tif Classificada pelos Diversos Métodos de Classificação: Manual por um Utilizador Especialista

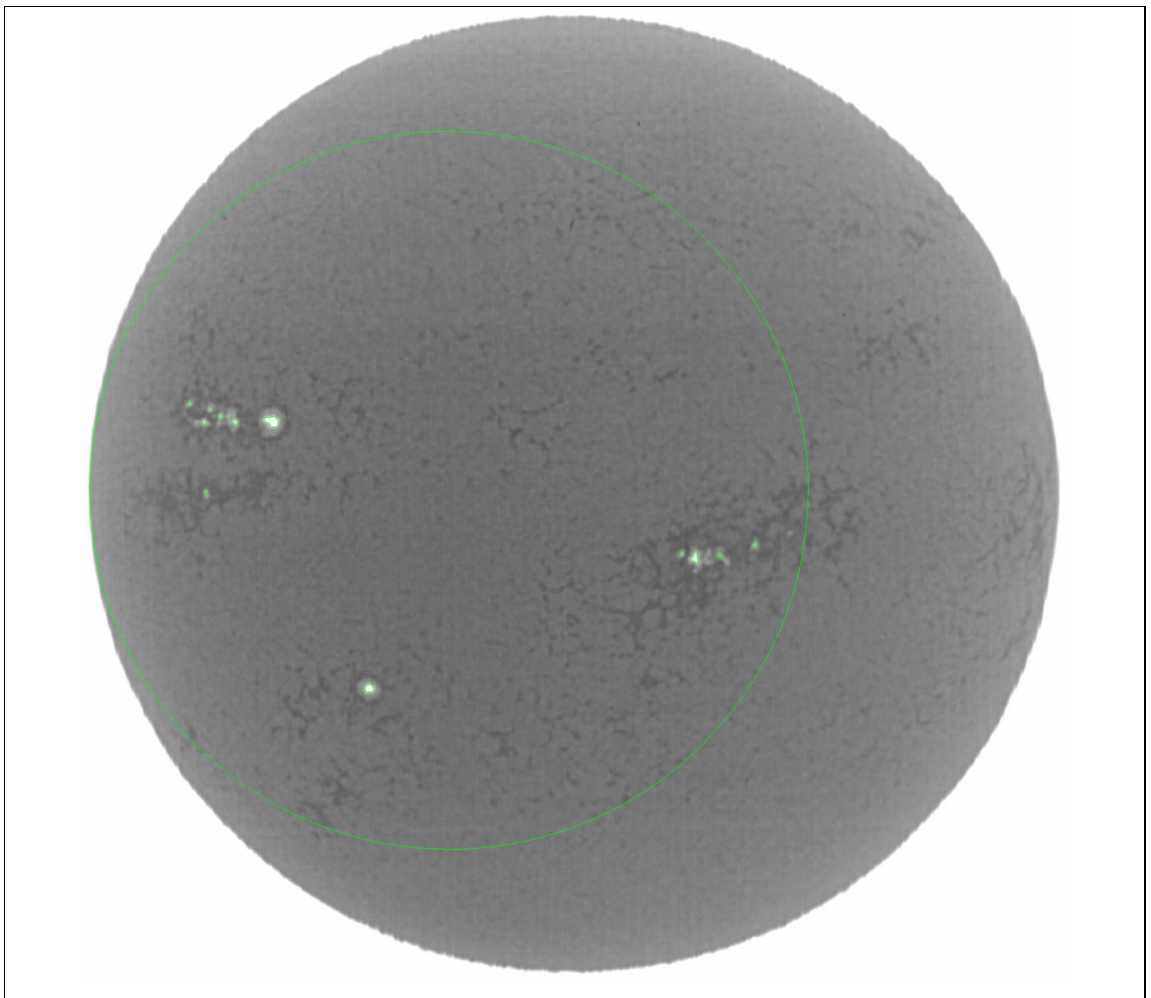


Figura 4.15 – Imagem **k1v_20_12_99_14h_32.tif** Classificada pelos Diversos Métodos de Classificação: Manual por um Utilizador Não Especialista

Como é possível verificar, a classificação manual feita por um utilizador leigo é muito semelhante aos resultados obtidos pela aplicação. Na maior parte dos casos, o número de manchas solares detectadas é inferior às manchas solares espectáveis quando analisada a imagem por um utilizador leigo. A diferença é ainda maior quando se compara com as expectativas de um utilizador sensibilizado para a identificação de manchas solares.

Nome da Imagem	Manual		Automático			Diferença Manchas	Porcentagem	Diferença Área Pixéis
	Número de manchas	Área Pixéis	Número de manchas	Área Pixéis	Área MSH			
k1v_01_02_01_12h_03	3	161	6	2695	918	3	-50,00	2534
k1v_02_01_01_10h_04	11	1208	12	7716	2514	1	-8,33	6508
k1v_02_06_81_15h_01_E_C	4	687	0	0	0	-4	100,00	-687
k1v_03_02_94_11h_39_E_E	3	292	10	4129	1329	7	-70,00	3837
k1v_03_02_01_11h_49	5	541	4	1322	249	-1	20,00	781
k1v_03_11_00_09h_55	11	788	9	8935	2618	-2	18,18	8147
k1v_05_06_82_08h_55_E_C	10	1000	10	3428	697	0	0,00	2428
k1v_06_01_01_12h_45	11	1052	8	7375	2535	-3	27,27	6323
k1v_06_10_83_14h_36_E_C	7	783	18	6032	1164	11	-61,11	5249
k1v_07_01_01_11h_33	9	378	14	7557	2644	5	-35,71	7179
k1v_07_02_01_11h_49	10	595	9	5767	1585	-1	10,00	5172
k1v_08_02_01_12h_03	7	233	4	2603	692	-3	42,86	2370
k1v_09_11_01_10h_25	23	1108	33	12862	3999	10	-30,30	11754
k1v_10_02_01_15h_37	7	558	6	5428	1570	-1	14,29	4870
k1v_10_06_84_11h_54_E_C	0	0	2	290	67	2	-100,00	290
k1v_10_12_99_10h_16	8	1039	7	7670	2347	-1	12,50	6631
k1v_11_01_01_10h_27	14	736	11	5389	1512	-3	21,43	4653
k1v_11_02_01_09h_35	6	630	5	4464	1227	-1	16,67	3834
k1v_12_01_01_09h_33	14	681	15	8776	2412	1	-6,67	8095
k1v_12_06_81_09h_14_E_C	10	1036	9	3932	751	-1	10,00	2896
k1v_19_09_92_15h_28_E_C	5	1046	5	2552	505	0	0,00	1506
k1v_20_06_01_09h_21	17	1278	19	11684	3330	2	-10,53	10406
k1v_20_12_99_14h_32	13	1014	11	12455	4049	-2	15,38	11441
k1v_28_06_81_08h_37_E_C	13	3521	9	7426	1406	-4	30,77	3905
k1v_30_04_82_10h_04_E_C	7	1254	11	5087	1026	4	-36,36	3833
				Valores Médio=		2,92	10,00	4958,2

Tabela 4.3 – Número de Manchas Solares pelo Método Manual e pela Aplicação

Tendo em conta os valores da tabela 4.3, pode concluir-se que a aplicação está sincronizada com a sensibilidade de um utilizador leigo, em relação ao número de manchas solares a identificar. A diferença média é inferior a três manchas por imagem, o que corresponde, em média, a um erro de 10%. Ou seja, são identificadas pelo *software*, em média, menos 10% do número de manchas que a imagem apresenta.

As imagens com piores resultados **k1v_06_10_83_14h_36_E_C** e **k1v_09_11_01_10h_25** são as que provavelmente tiveram problemas na sua obtenção, porque apresentam riscas na sua constituição.

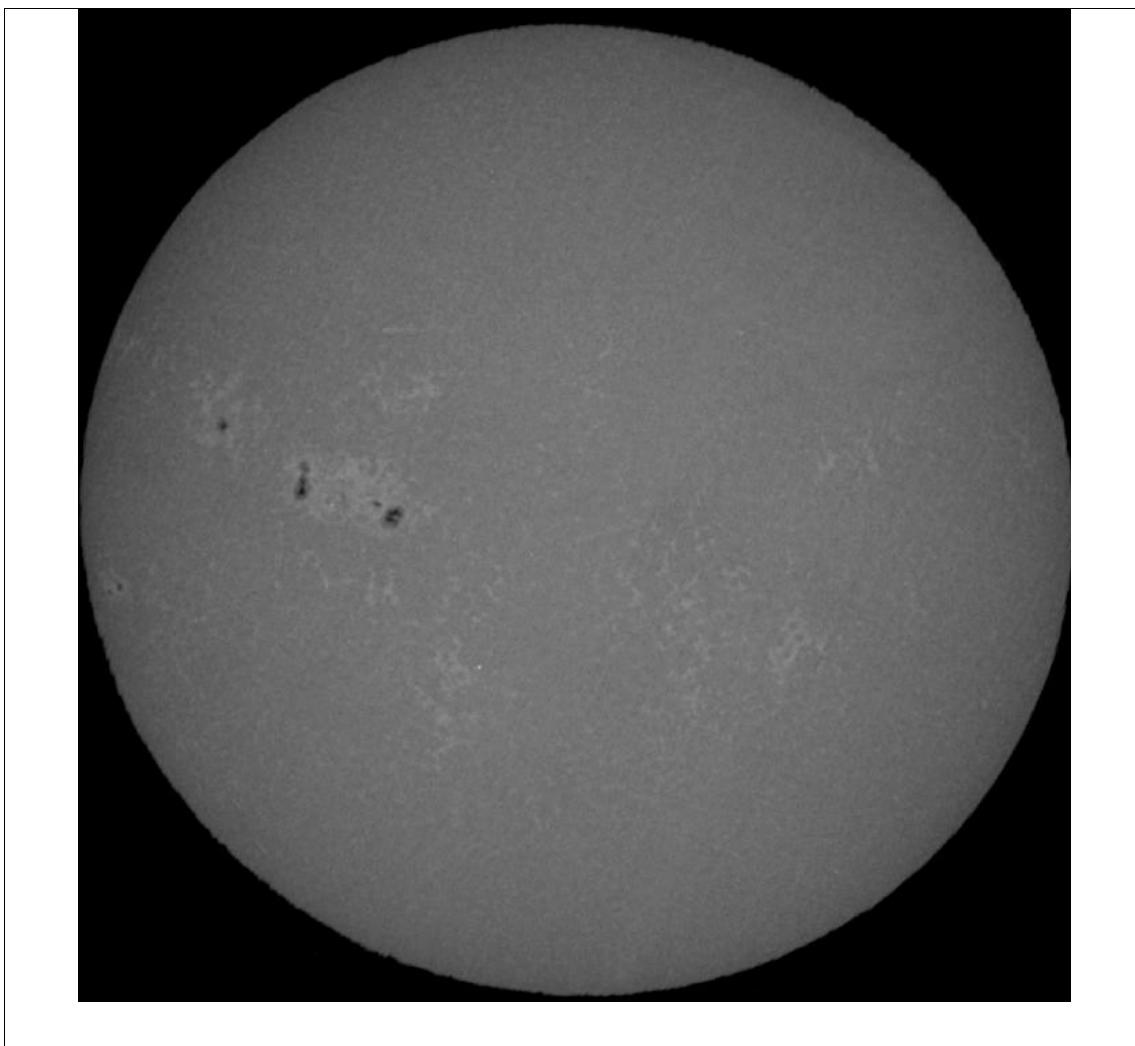


Figura 4.16 – Imagens com Maior Erro: **k1v_06_10_83_14h_36_E_C**

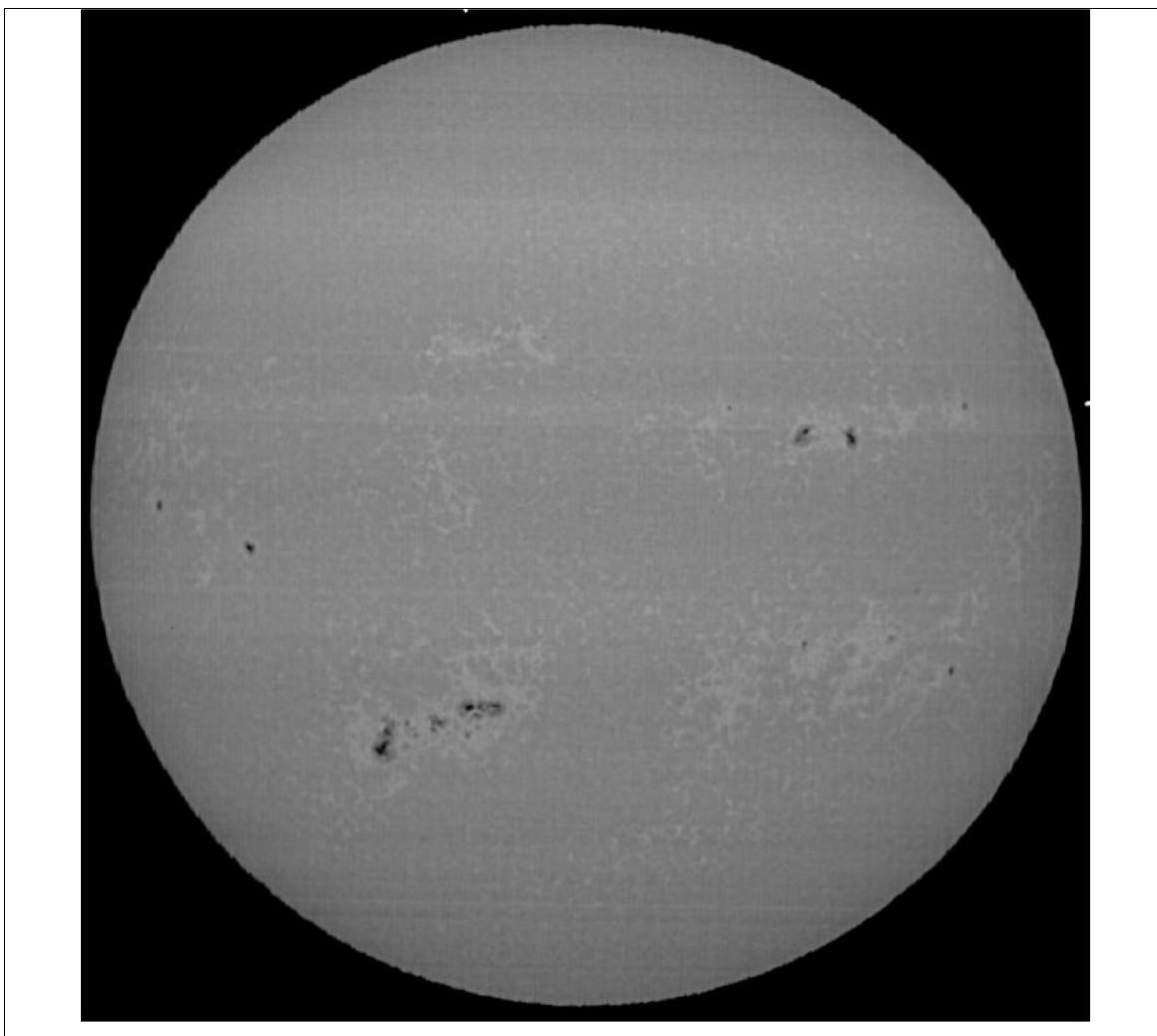


Figura 4.17 – Imagens com Maior Erro: **k1v_09_11_01_10h_25**

Em relação à área total das manchas solares identificadas pode concluir-se que o método utilizado, que consistiu na utilização da aplicação MD3RI para calcular a área, não se adequa para o cálculo dessa característica das manchas solares. A diferença média é na ordem dos 5000 pixéis. Para a classificação manual não parece existir uma relação entre o número de manchas solares e a soma das suas áreas. Esse facto, visível na figura 4.18, é representado pelos pontos vermelhos. Pelo contrário, na classificação automática da aplicação, há uma relação linear no aumento do número de manchas solares identificadas e a soma das suas áreas. Na mesma figura, a classificação automática está representada pelos triângulos azuis.

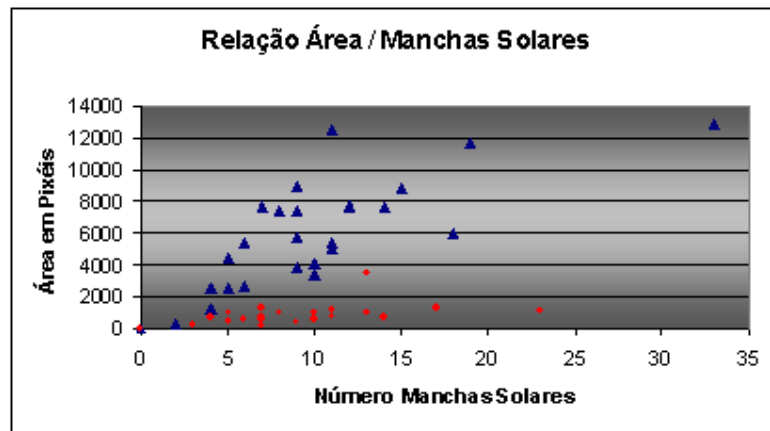


Figura 4.18 – Relação entre Número de Manchas Solares e Área

Os resultados dos processos manuais podem ser úteis na afinação da aplicação. No entanto, o processo manual está sujeito à atenção do utilizador e da sensibilidade deste para classificar os objectos solares.

III. Comparação com a História dos Resultados

Uma outra forma de validar os resultados obtidos é a comparação com a história dos resultados obtidos por outros observatórios. As figuras 2.3 a 2.7, apresentadas anteriormente no capítulo 2, são exemplos de estudos realizados ao longo de vários séculos, onde se faz a contagem do número de manchas solares, o cálculo da área das manchas identificadas, bem como a sua localização. A aplicação desenvolvida permite fazer a contagem do número de manchas solares e o cálculo da área das manchas identificadas. Relacionando os resultados obtidos com a variável tempo pode fazer-se a comparação com os resultados históricos.

Na figura 4.19 está representada a relação entre do número de manchas solares identificadas, no conjunto das imagens analisadas, e a data em que a imagem foi recolhida pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra. Não se encontra, nos estudos analisados, o número de manchas solares identificadas; em vez disso, é encontrado o número de *Wolf*. Na sua fórmula mais simples, o número de *Wolf* é obtido pela soma do número de manchas identificadas com o número de grupos de manchas, multiplicado por dez [40]. Na sua versão mais complexa é multiplicado, ao número de *Wolf* determinado pela fórmula anterior, um factor *k*, que depende do tipo de aparelho de observação.

A aplicação não faz a identificação de grupos de manchas solares. Por esse facto, não é possível calcular o número de *Wolf* para as manchas solares. Apesar de não se calcular o número de *Wolf* por forma a comparar os resultados da aplicação com os presentes nos diversos estudos conhecidos [21],

pode verificar-se, na observação da figura 4.19, que existe uma maior actividade de manchas solares por volta do ano 1982, e por volta do ano 2001.

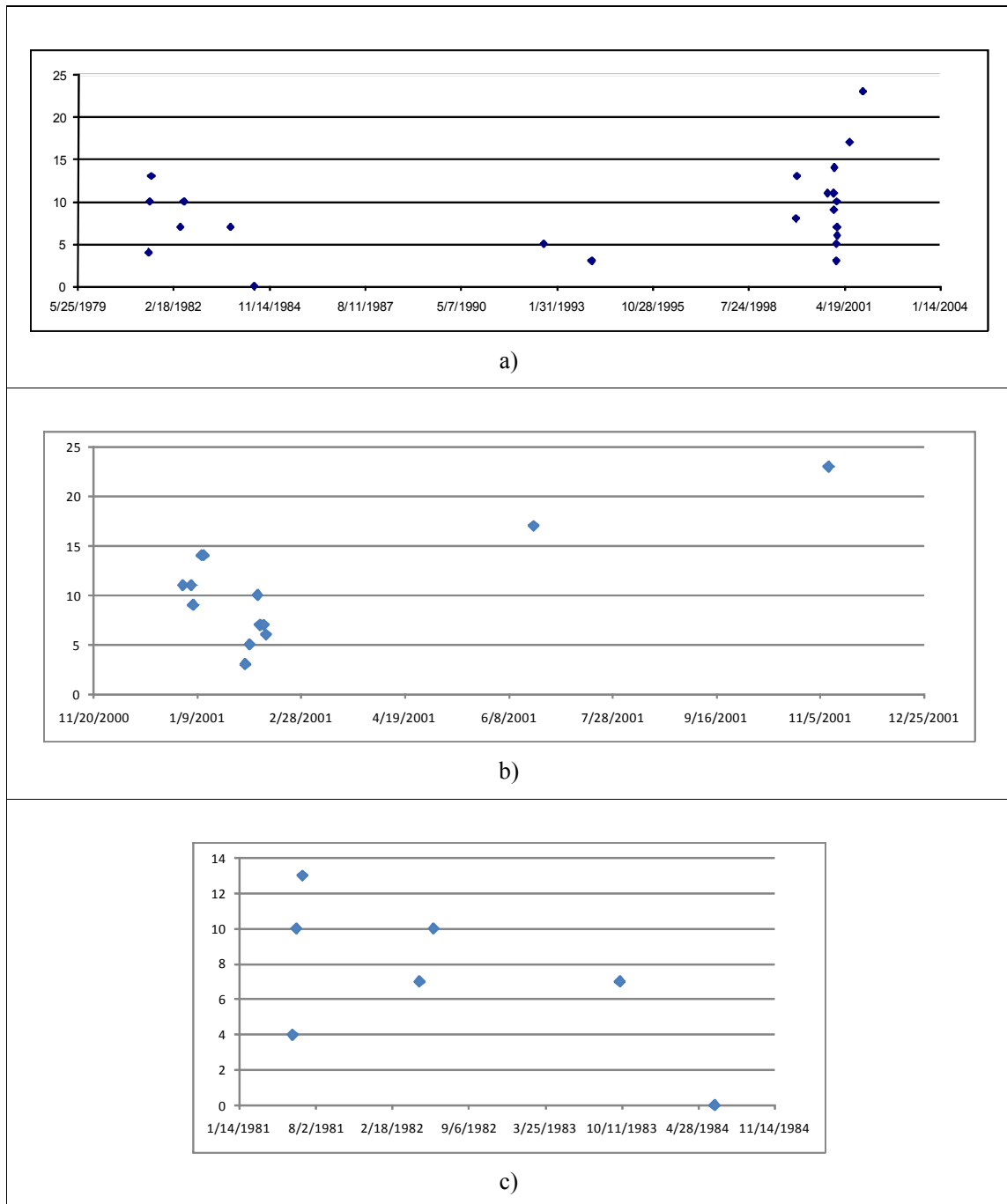


Figura 4.19 – Variação Temporal do Número de Manchas Solares. b) detalhe ciclo solar 23; c) detalhe do ciclo solar 21

Se se voltar a observar a figura 2.4, pode verificar-se que, perto do anos 1982 e 2001, estávamos no auge de ciclos solares. Em 1982 estávamos no ciclo 21, e em 2001 estávamos no ciclo 23. Esta constatação, mesmo sem se confirmar o número de *Wolf* pois não está a ser calculado, valida os resultados obtidos, na sua relação temporal.

IV. Tempo de Computação

Um dos problemas que surgiram na execução do projecto prende-se com a carga computacional que o processamento digital da imagem tem. Como foi enunciado anteriormente, a análise de todas as regiões encontradas durante a aplicação da segmentação da imagem tem uma duração de vários dias, dependendo da imagem. O tempo de computação, além de verificar o algoritmo escolhido, também verifica a funcionalidade da aplicação.

Para o conjunto de imagens analisadas é apresentado o tempo de simulação, separado pelas principais fases da aplicação: pré processamento; equalização; *watershed*; e, classificação.

300 Pontos	
Nome da Imagem	Tempo Simulação
k1v_01_02_01_12h_03	0:35:59
k1v_02_01_01_10h_04	0:37:54
k1v_02_06_81_15h_01_E_C	0:38:33
k1v_03_02_94_11h_39_E_E	0:39:24
k1v_03_02_01_11h_49	0:38:08
k1v_03_11_00_09h_55	0:38:29
k1v_05_06_82_08h_55_E_C	0:37:45
k1v_06_01_01_12h_45	0:37:30
k1v_06_10_83_14h_36_E_C	0:38:40
k1v_07_01_01_11h_33	0:37:54
k1v_07_02_01_11h_49	0:37:53
k1v_08_02_01_12h_03	0:38:00
k1v_09_11_01_10h_25	0:38:01
k1v_10_02_01_15h_37	0:37:51
k1v_10_06_84_11h_54_E_C	0:38:58
k1v_10_12_99_10h_16	0:39:01
k1v_11_01_01_10h_27	0:38:59
k1v_11_02_01_09h_35	0:38:51
k1v_12_01_01_09h_33	0:38:09
k1v_12_06_81_09h_14_E_C	0:38:08
k1v_19_09_92_15h_28_E_C	0:38:41
k1v_20_06_01_09h_21	0:37:15
k1v_20_12_99_14h_32	0:35:41
k1v_28_06_81_08h_37_E_C	0:38:52
k1v_30_04_82_10h_04_E_C	0:37:46
	0:38:06

Tabela 4.4 – Tempo de Computação da Aplicação

Verifica-se que o tempo médio de computação da aplicação é de cerca de 38 minutos.

300 Regiões				
Nome da Imagem	Tempo Processamento	Tempo Equalização	Tempo Watershed	Tempo Classificação
k1v_01_02_01_12h_03	0:00:00	0:03:41	0:00:10	0:32:04
k1v_02_01_01_10h_04	0:01:15	0:02:03	0:00:09	0:34:22
k1v_02_06_81_15h_01_E_C	0:00:32	0:02:08	0:00:09	0:35:40
k1v_03_02_94_11h_39_E_E	0:00:36	0:02:08	0:00:09	0:36:27
k1v_03_02_01_11h_49	0:00:47	0:02:08	0:00:09	0:34:59
k1v_03_11_00_09h_55	0:00:47	0:02:10	0:00:09	0:35:19
k1v_05_06_82_08h_55_E_C	0:00:32	0:02:08	0:00:08	0:34:52
k1v_06_01_01_12h_45	0:00:46	0:02:08	0:00:08	0:34:24
k1v_06_10_83_14h_36_E_C	0:00:32	0:02:11	0:00:09	0:35:44
k1v_07_01_01_11h_33	0:01:13	0:02:08	0:00:09	0:34:19
k1v_07_02_01_11h_49	0:01:07	0:02:08	0:00:09	0:34:24
k1v_08_02_01_12h_03	0:01:07	0:02:08	0:00:08	0:34:33
k1v_09_11_01_10h_25	0:00:46	0:02:09	0:00:08	0:34:53
k1v_10_02_01_15h_37	0:01:07	0:02:08	0:00:09	0:34:22
k1v_10_06_84_11h_54_E_C	0:00:39	0:02:11	0:00:09	0:35:54
k1v_10_12_99_10h_16	0:01:17	0:02:12	0:00:08	0:35:20
k1v_11_01_01_10h_27	0:01:09	0:02:12	0:00:08	0:35:25
k1v_11_02_01_09h_35	0:00:48	0:02:11	0:00:09	0:35:37
k1v_12_01_01_09h_33	0:00:48	0:02:11	0:00:08	0:34:58
k1v_12_06_81_09h_14_E_C	0:00:32	0:02:08	0:00:09	0:35:14
k1v_19_09_92_15h_28_E_C	0:00:32	0:02:08	0:00:09	0:35:47
k1v_20_06_01_09h_21	0:00:47	0:02:15	0:00:09	0:33:59
k1v_20_12_99_14h_32	0:01:04	0:02:02	0:00:08	0:32:22
k1v_28_06_81_08h_37_E_C	0:00:32	0:02:11	0:00:08	0:35:56
k1v_30_04_82_10h_04_E_C	0:00:37	0:02:10	0:00:09	0:34:44
Valores Médios	0:00:48	0:02:13	0:00:09	0:34:52

Tabela 4.5 – Tempo de Computação das Diversas Fases da Aplicação

Na tabela 4.5 constata-se que a maior parte do tempo de computação da aplicação é na fase da classificação. Nesta fase há várias pesquisas aos valores das regiões, onde há cálculos que implicam a análise a cada pixel da região. Apesar desse facto, como se pode observar na figura 4.20, não há uma relação directa entre a dimensão das áreas solares e o tempo de computação, na fase de classificação. O tempo de processamento depende se a imagem requer maior ou menor manipulação. As imagens que já estão orientadas, cujo nome tem os sufixos **E_C** e **E_E**, implicam, na fase de processamento, um tempo menor. O tempo da realização da transformada *watershed* pode-se considerar rápido. O tempo da equalização é muito semelhante no conjunto das imagens, mas é nesta fase, se excluirmos a fase da classificação, que a aplicação perde mais tempo.

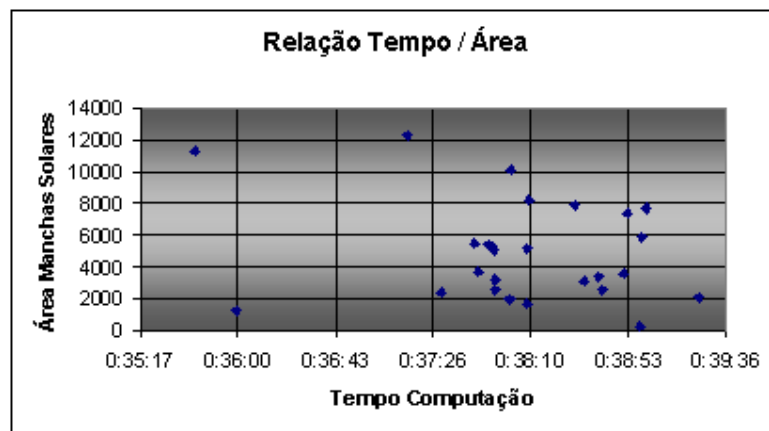


Figura 4.20 – Relação Tempo de Computação com Área das Manchas Solares

V. Simulações com 1000 Regiões Watershed

Verifica-se na tabela 4.3 que em média o número de manchas não identificadas, ou mal identificadas, é de 2,92 manchas. Para validar, ou reforçar, a escolha de fazer a análise de apenas 300 regiões *watershed* durante a fase de classificação, foram realizadas para algumas imagens simulações com 1000 regiões *watershed*.

Uma constatação é o tempo médio de computação da aplicação ter aumentado consideravelmente: de 35 minutos para as 3 horas e 10 minutos.

1000 Pontos	
Nome da Imagem	Tempo Simulação
k1v_03_11_00_09h_55	3:11:05
k1v_05_06_82_08h_55_E_C	3:18:39
k1v_06_10_83_14h_36_E_C	3:14:53
k1v_09_11_01_10h_25	3:18:12
k1v_10_06_84_11h_54_E_C	3:17:14
k1v_10_12_99_10h_16	3:21:09
k1v_12_06_81_09h_14_E_C	3:12:54
k1v_20_12_99_14h_32	3:12:15
k1v_28_06_81_08h_37_E_C	3:12:51
	3:15:28

Tabela 4.6 – Tempo de Computação da Aplicação

1000 Regiões					
Nome da Imagem	Tempo Computação	Tempo Processamento	Tempo Equalização	Tempo Watershed	Tempo Classificação
k1v_03_11_00_09h_55	3:11:05	0:01:02	0:03:42	0:00:13	3:06:00
k1v_05_06_82_08h_55_E_C	3:18:39	0:00:42	0:03:40	0:00:14	3:13:57
k1v_06_10_83_14h_36_E_C	3:14:53	0:00:44	0:03:44	0:00:15	3:10:02
k1v_09_11_01_10h_25	3:18:12	0:00:59	0:03:54	0:00:15	3:12:56
k1v_10_06_84_11h_54_E_C	3:17:14	0:00:54	0:04:17	0:00:20	3:11:34
k1v_10_12_99_10h_16	3:21:09	0:01:44	0:03:46	0:00:14	3:15:17
k1v_12_06_81_09h_14_E_C	3:12:54	0:00:44	0:03:44	0:00:15	3:08:04
k1v_20_12_99_14h_32	3:12:15	0:01:33	0:03:46	0:00:14	3:06:36
k1v_28_06_81_08h_37_E_C	3:12:51	0:00:43	0:03:46	0:00:14	3:08:02
Valores médios =	3:15:28	0:01:01	0:03:49	0:00:15	3:10:16

Tabela 4.7 – Tempo de Computação das Diversas Fases da Aplicação para 1000 Regiões Watershed

Como se pode verificar, a maior parte do tempo de computação da aplicação é dispendido na fase da classificação, tal como sucedia com as simulações com a análise de 300 regiões *watershed*. É notório que, se a aplicação analisar mais regiões, o tempo de computação aumenta consideravelmente, nomeadamente o tempo de classificação. As outras fases da aplicação não têm variações de tempo assinaláveis. Portanto, o tempo de computação das restantes fases da aplicação não depende do número de regiões *watershed* a analisar.

	Tempo Processamento	Tempo Equalização	Tempo Watershed	Tempo Classificação
300 regiões	0:00:48	0:02:13	0:00:09	0:34:52
1000 regiões	0:01:01	0:03:49	0:00:15	3:10:16

Tabela 4.8 – Tempo Médio de Computação das Diversas Fases da Aplicação para 300 ou 1000 regiões watershed

Na tabela 4.7 existe alguma diferença no tempo médio de processamento, entre os dois tipos de simulações, porque 3 das imagens foram simuladas num outro computador, devido a avaria no computador de trabalho, apresentando tempos de simulação superiores em 60 minutos. O computador de trabalho usa um processador Intel @ 2.4MHz e 1GB de memória. O segundo computador usou a mesma memória e um processador AMD @ 1.25MHz.

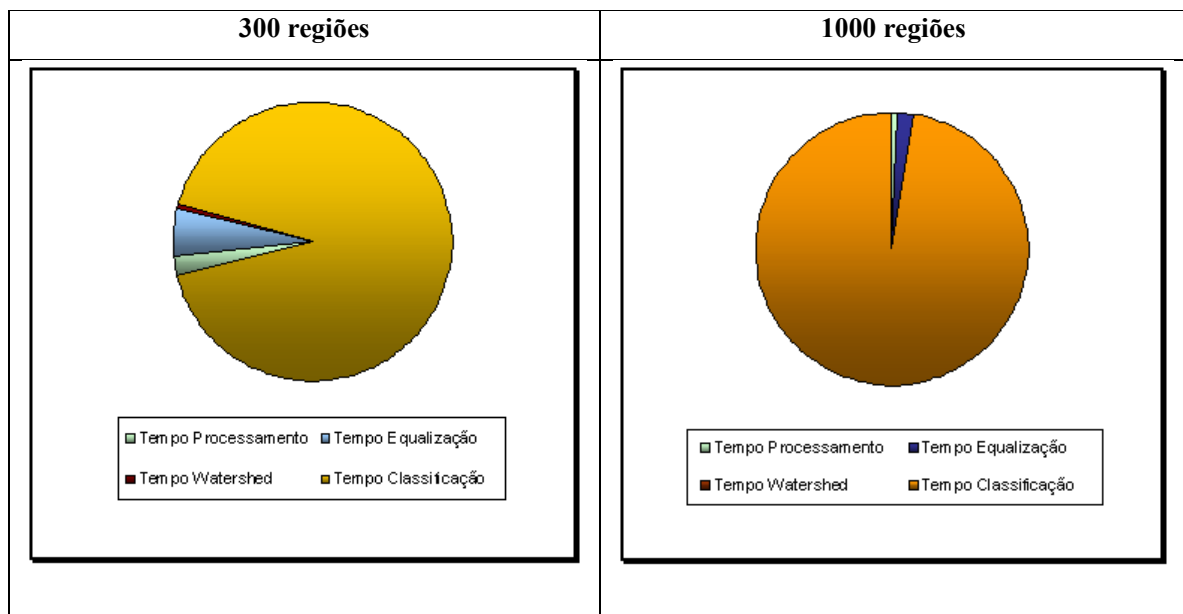


Figura 4.21 – Tempo de Computação das Fases da Aplicação

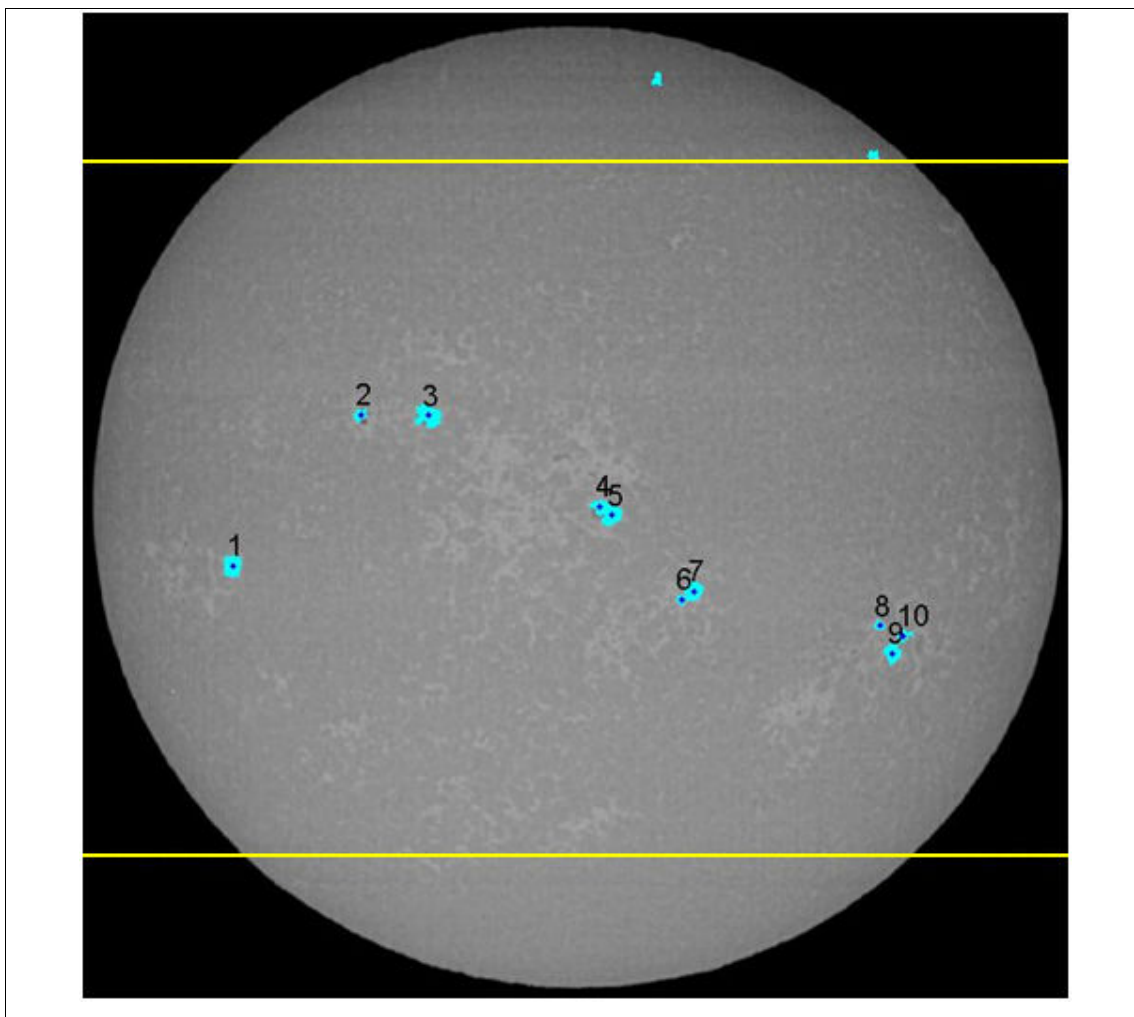


Figura 4.22 – Comparação da Imagem Resultante da Aplicação **k1v_03_11_00_09h_55_soo.jpg**: Análise de 1000 Regiões *Watershed*

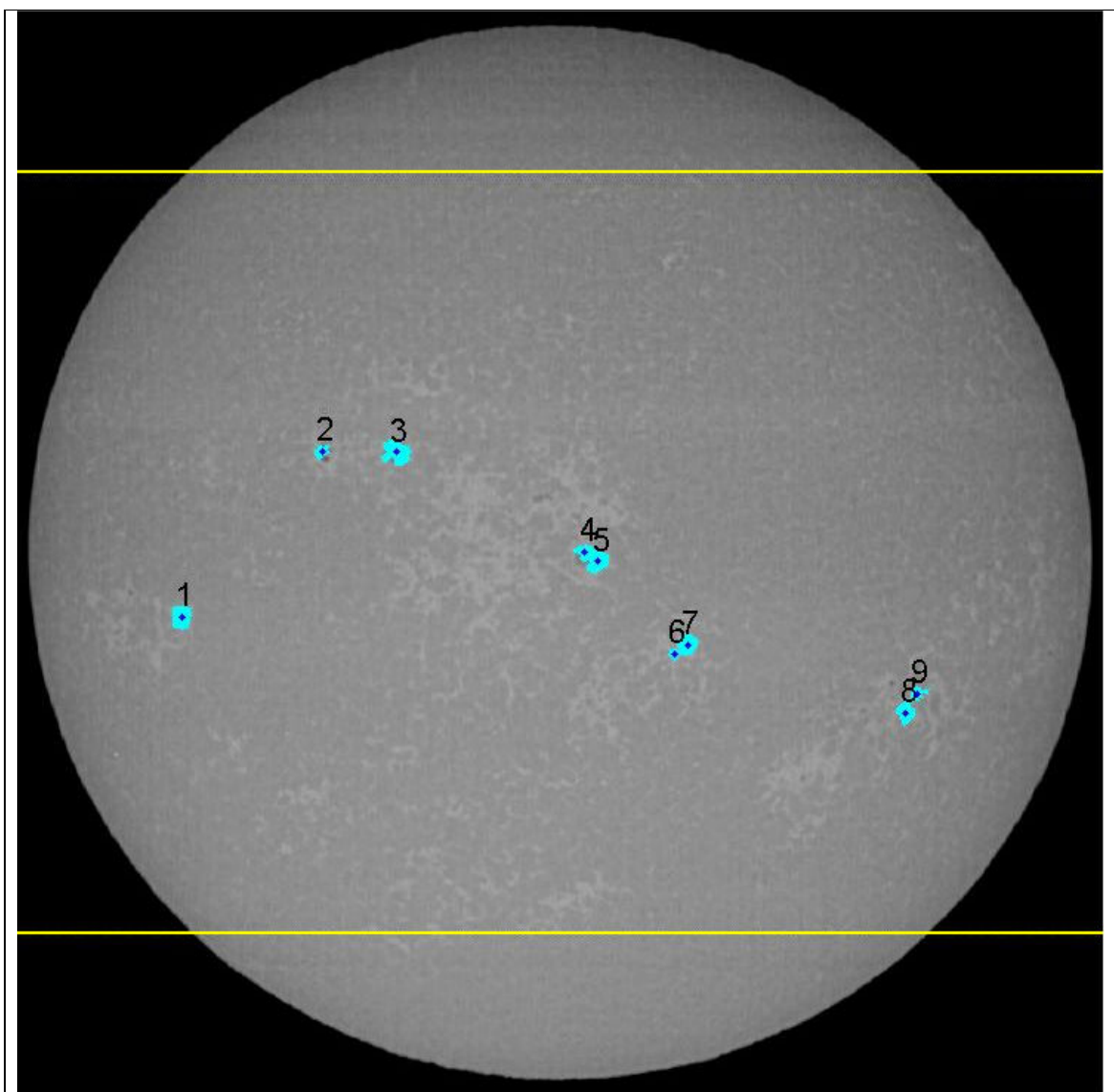


Figura 4.23 – Comparação da Imagem Resultante da Aplicação **k1v_03_11_00_09h_55_soo.jpg**: Análise de 300 Regiões *Watershed*

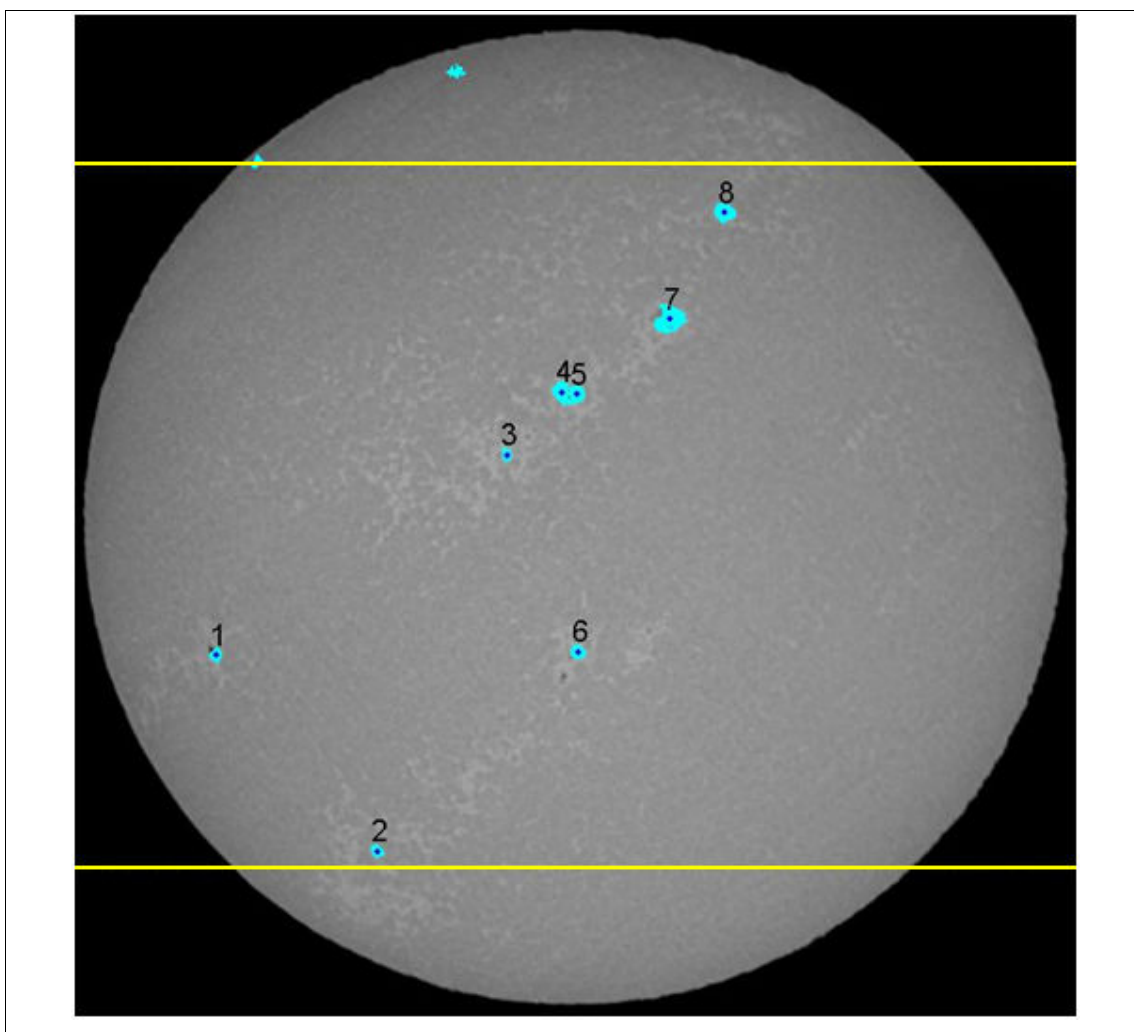


Figura 4.24 – Comparação da Imagem Resultante da Aplicação **k1v_10_12_99_10h_16_soo.jpg**: Análise de 1000 Regiões *Watershed*

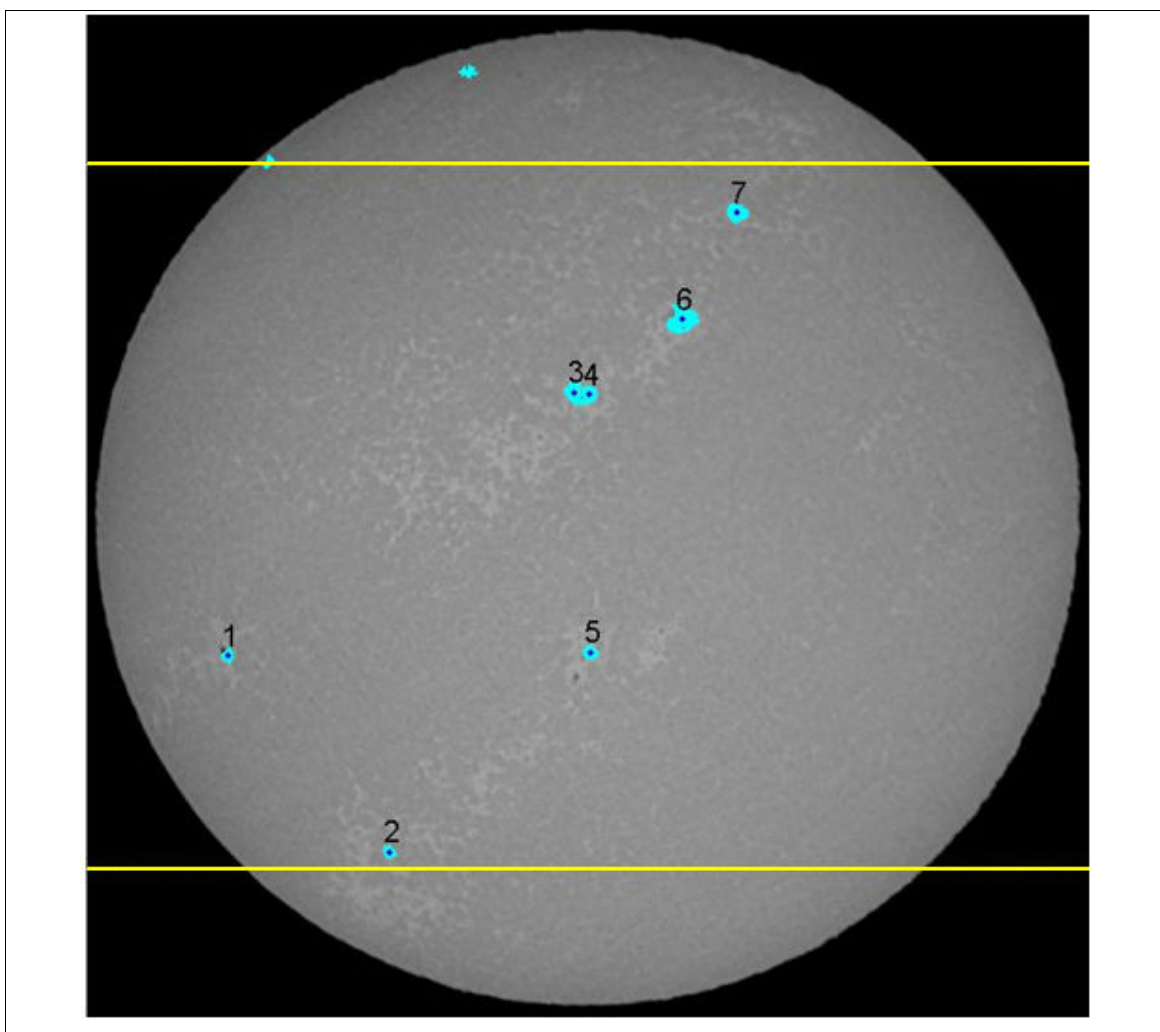


Figura 4.25 – Comparação da Imagem Resultante da Aplicação **k1v_10_12_99_10h_16_soo.jpg**: Análise de 300
Regiões *Watershed*

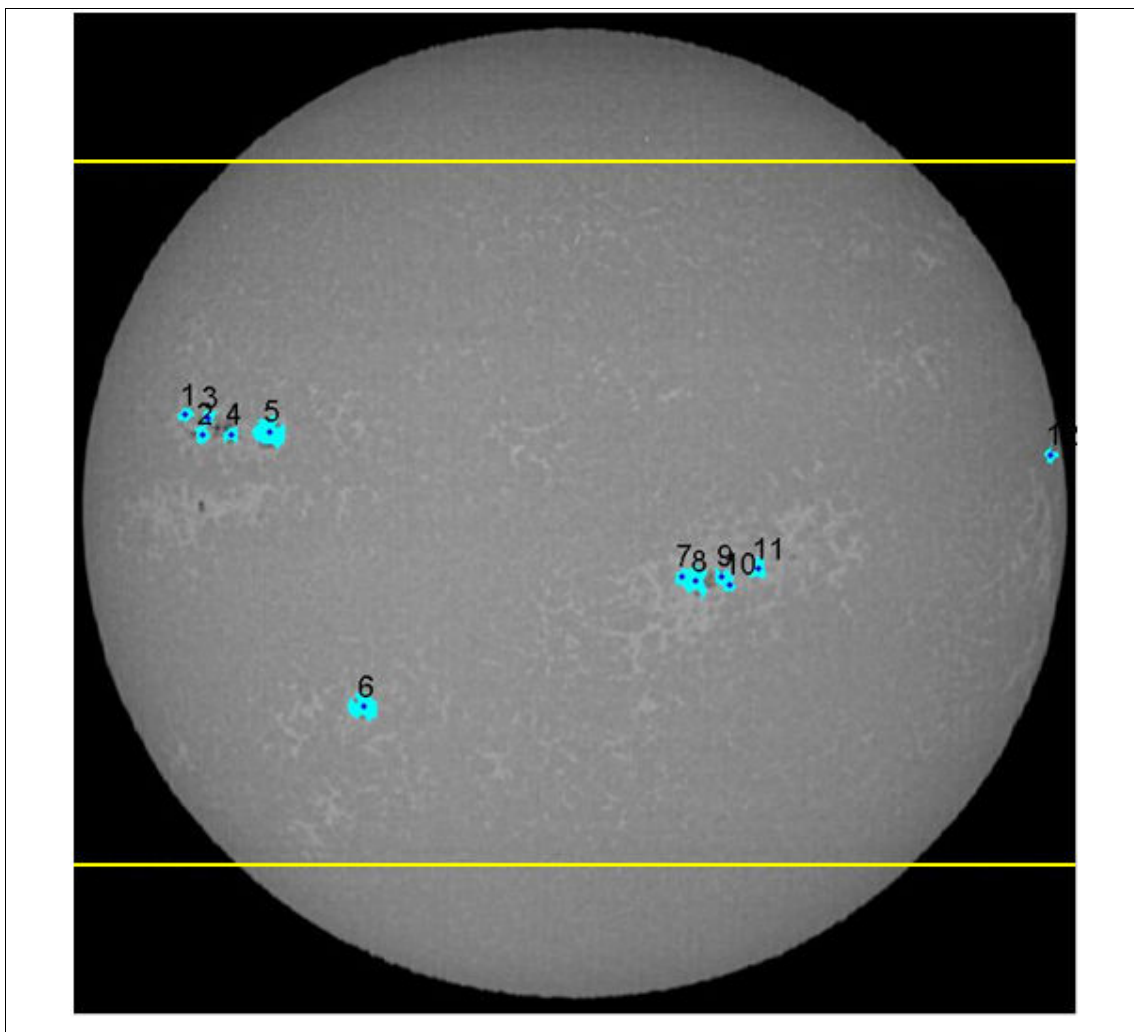


Figura 4.26 – Comparação da Imagem Resultante da Aplicação **k1v_20_12_99_14h_32_soo.jpg**: Análise de 1000 Regiões *Watershed*

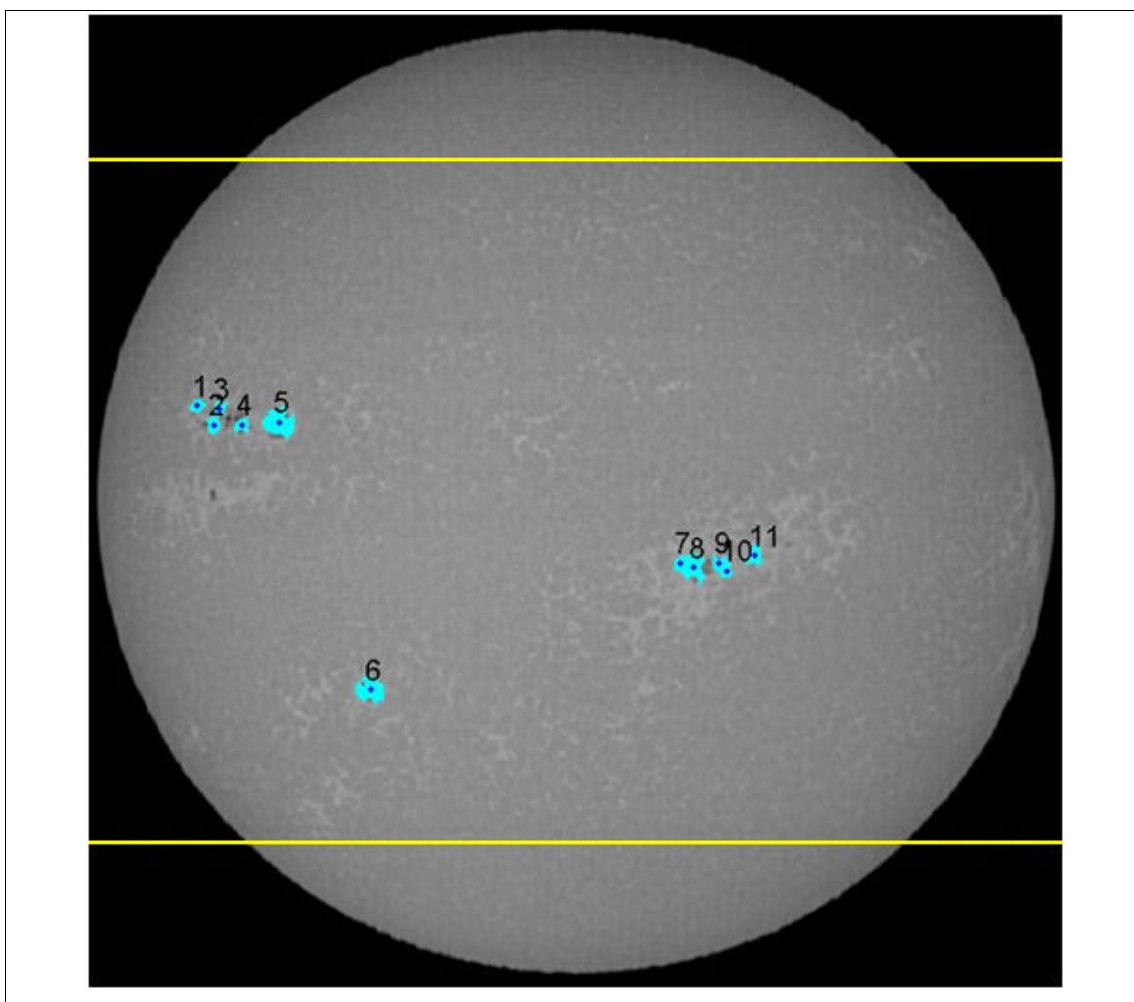


Figura 4.27 – Comparação da Imagem Resultante da Aplicação **k1v_20_12_99_14h_32_soo.jpg**: Análise de 300 Regiões *Watershed*

Apesar de o tempo de computação ser consideravelmente superior, poder-se-ia considerar aceitável, se os resultados assim o demonstrassem, aumentar o número de regiões a analisar por forma a melhorar o desempenho da aplicação. No entanto, da observação das figuras 4.22 a 4.27 verifica-se que, apesar de haver mais manchas solares identificadas, esse número não é significativo e há ainda regiões que poderiam ser consideradas como manchas solares e não o são.

Tomando como exemplo uma imagem simulada anteriormente, foram gerados gráficos ilustrativos do factor de decisão da fase de classificação para a análise de 300 regiões *watershed* e de 1000 regiões *watershed*. Na comparação dos dois gráficos, verifica-se que há regiões com peso significativo entre a região 300 e a região 1000, e que irão ser classificadas como manchas solares.

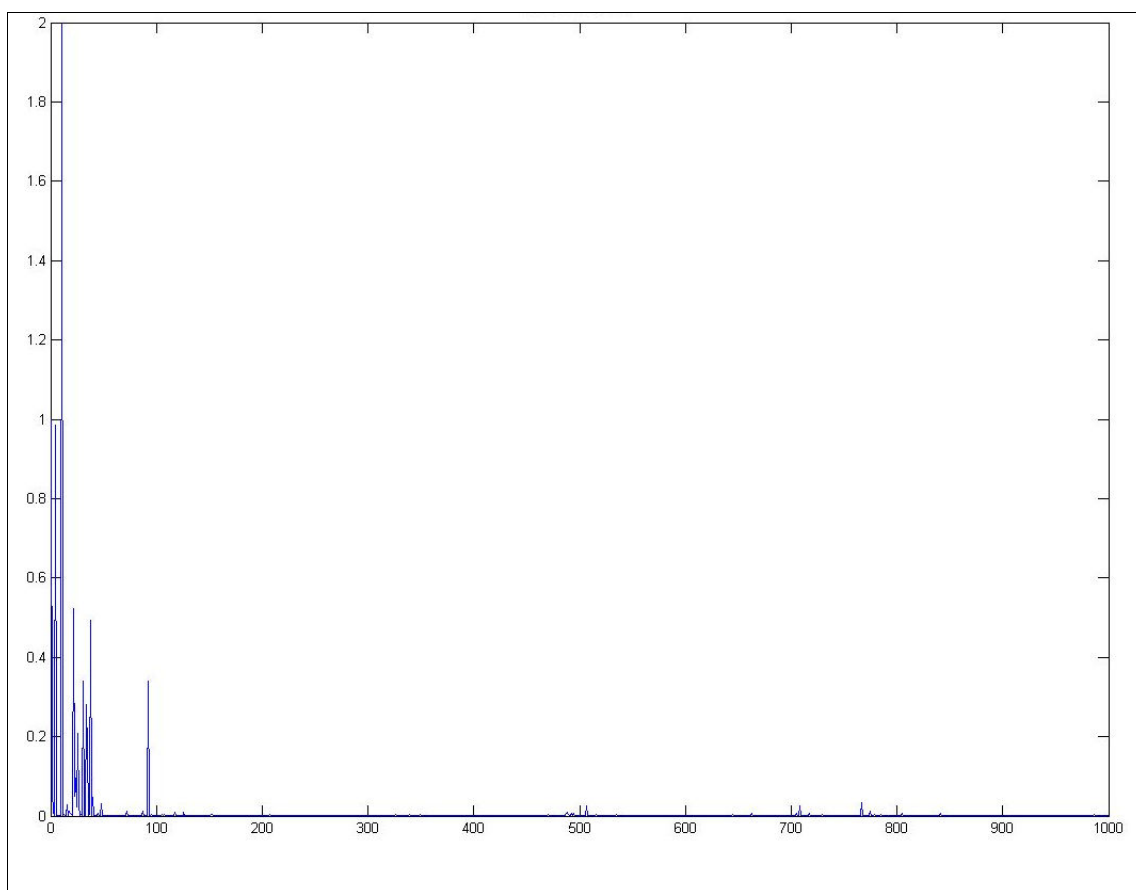


Figura 4.28 – Gráficos Factor de Decisão da Aplicação: Análise de 1000 Regiões *Watershed*

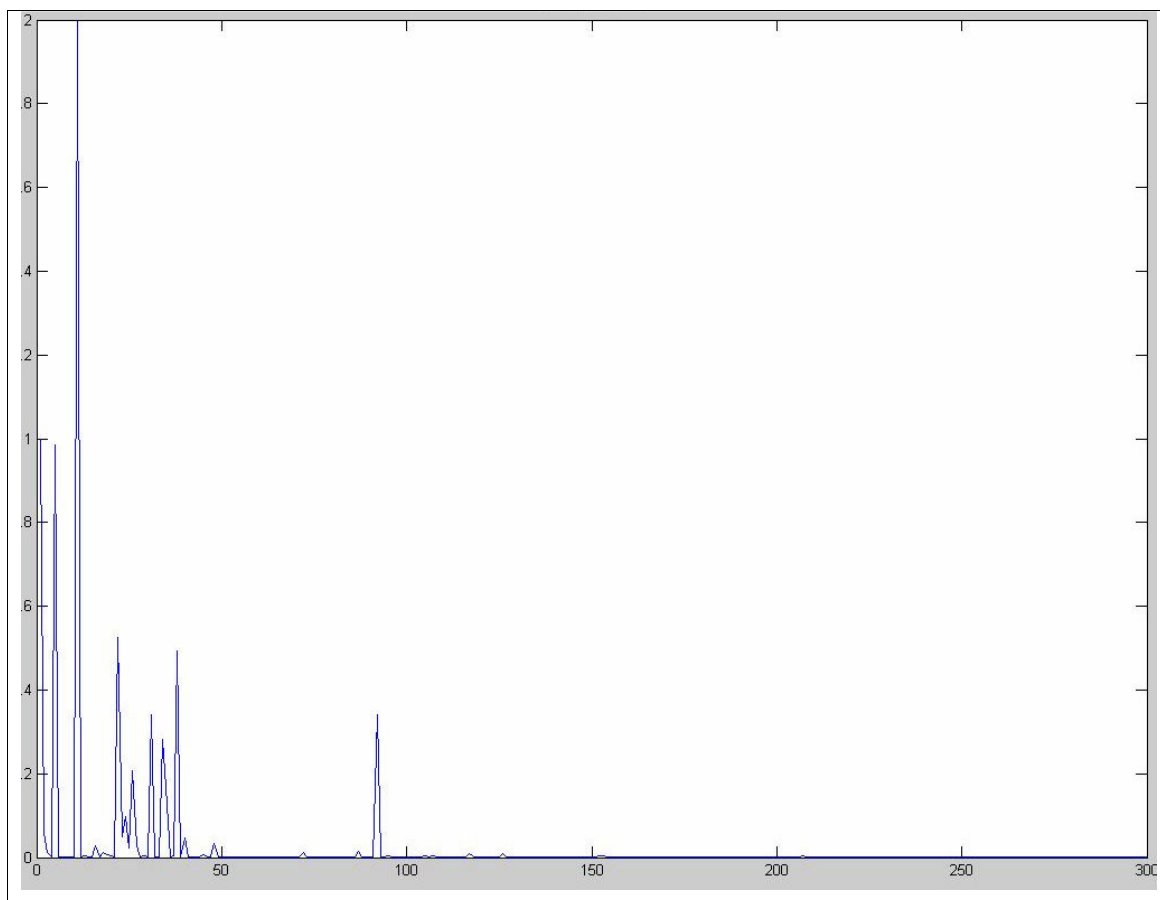


Figura 4.29 – Gráficos Factor de Decisão da Aplicação: Análise de 300 Regiões *Watershed*

Poderá então pensar-se no aumento do número de regiões *watershed* a analisar na fase da classificação, sendo o limite a análise de todas as regiões *watershed*. Tendo em conta os cálculos do tempo médio de computação para as duas situações analisadas (300 e 1000 regiões *watershed*), e caso haja proporcionalidade no aumento o tempo de computação, para o cálculo de todas as regiões *watershed* seriam precisos, em média, 54380 minutos, o que são mais de 8 dias e meio de computação. Em situações extremas, e considerando o conjunto de imagens fornecidas pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, o tempo de computação poderia variar entre os 4 dias e meio e os 17 dias e meio. Mesmo reduzindo o número de regiões *watershed* através do métodos de redução de segmentação, o tempo de computação seria excessivo.

tempo	número de regiões <i>watershed</i>		
	médio	máximo	mínimo
segundos	54380	110711	29379
minutos	12403	25280,0	6687,5
horas	207	421,3	111,5
dias	8,6	17,6	4,6

Tabela 4.9 – Tempo de Computação de Todas as Regiões *Watershed*

Esses tempos de computação não são aceitáveis, tendo em conta que a cada dia que passa há mais uma imagem para analisar.

VI.Otimização do Código MATLAB

Além dos processos de optimização que têm a ver com a forma como se desenvolve o algoritmo da aplicação, procurou-se melhorar nos aspectos específicos com a ferramenta MATLAB. Existem formas de programar o MATLAB que permitem melhorar o desempenho das aplicações. O MATLAB tem um vasto conjunto de funções já desenvolvidas, utilizando o conceito vectorização. Faz parte deste conceito o armazenamento dos dados em vectores. Para a quantidade de dados que as imagens possuem, e a forma matricial em que estão organizadas, esse armazenamento permite que, quando os dados são enviados para a memória do computador, o sejam de forma contínua, sem interrupção, melhorando a rapidez dos cálculos. Alguns dos procedimentos sugeridos [41] são: a pré-alocação em memória de vectores e matrizes, mesmo que com valores inválidos; a substituição de ciclos **FOR** e **WHILE** por operações vectoriais. Por exemplo:

<pre>dx = pi/30; nx = 1 + 2*pi/dx; for i = 1:nx x(i) = (i-1)*dx; y(i) = sin(3*x(i)); end</pre>	Código sem vectorização
<pre>x = 0:pi/30:2*pi y = sin(3*x);</pre>	Código utilizando vectorização

Quadro 4.1 – Optimização de Código MATLAB - Vectorização

<pre>x = zeros(1,nx); y = zeros(1,nx);</pre>	Pré alocação em vectores de duas variáveis
--	--

Quadro 4.2 – Optimização de Código MATLAB – Alocação de Variáveis

A aplicação destes procedimentos não produz resultados extraordinários, mas, tendo em conta a duração da computação que a actual versão da aplicação tem (cerca de 40 minutos), a recuperação de 5 minutos é apreciável. De referir que a ferramenta MATLAB utiliza todos os recursos disponíveis do processador do computador durante a realização dos cálculos. A alocação da memória é tanto maior quanto maior for a quantidade de dados a processar. Será importante minimizar o recurso do processador à memória e ao disco rígido, quando a memória não é suficiente para melhorar o desempenho da aplicação.

VII. Resultados da Equalização

Os resultados obtidos permitiram verificar um aspecto importante em relação ao algoritmo proposto. Anteriormente foi verificada e analisada a necessidade do processo de equalização no seio desta aplicação. No entanto, existe um contra-senso no sentido em que, após a utilização da equalização às imagens, aumenta a sobre segmentação.

Nome da Imagem	Regiões <i>Watershed</i> Identificadas	Regiões <i>Watershed</i> Identificadas com Equalização	Diferença de Regiões	%
k1v_01_02_01_12h_03	30627	34371	3744	10,9%
k1v_02_01_01_10h_04	27521	29933	2412	8,1%
k1v_02_06_81_15h_01_E_C	91518	95110	3592	3,8%
k1v_03_02_94_11h_39_E_E	65796	70389	4593	6,5%
k1v_03_02_01_11h_49	34305	37496	3191	8,5%
k1v_03_11_00_09h_55	27498	30739	3241	10,5%
k1v_05_06_82_08h_55_E_C	105561	110711	5150	4,7%
k1v_06_01_01_12h_45	33534	37377	3843	10,3%
k1v_06_10_83_14h_36_E_C	83883	88556	4673	5,3%
k1v_07_01_01_11h_33	26563	29379	2816	9,6%
k1v_07_02_01_11h_49	29011	32148	3137	9,8%
k1v_08_02_01_12h_03	47700	52204	4504	8,6%
k1v_09_11_01_10h_25	89392	92841	3449	3,7%
k1v_10_02_01_15h_37	26313	29446	3133	10,6%
k1v_10_06_84_11h_54_E_C	91016	96443	5427	5,6%
k1v_10_12_99_10h_16	28153	31676	3523	11,1%
k1v_11_01_01_10h_27	27796	30314	2518	8,3%
k1v_11_02_01_09h_35	33765	37119	3354	9,0%
k1v_12_01_01_09h_33	36391	39434	3043	7,7%
k1v_12_06_81_09h_14_E_C	91882	98025	6143	6,3%
k1v_19_09_92_15h_28_E_C	89067	94129	5062	5,4%
k1v_20_06_01_09h_21	27231	29864	2633	8,8%
k1v_20_12_99_14h_32	28169	31294	3125	10,0%
k1v_28_06_81_08h_37_E_C	95565	101800	6235	6,1%
k1v_30_04_82_10h_04_E_C	91238	96856	5618	5,8%

Tabela 4.10 – Relação entre Equalização e Número de Regiões *Watershed*

Pode verificar-se que a introdução da equalização é responsável pelo aumento do número de regiões *watershed*. Esse aumento é em média de 7,8% do número de regiões *watershed*, o que corresponde em média a um incremento de cerca de 3900 regiões.

Outro facto a constatar em relação ao número de regiões *watershed* é haver mais regiões nas imagens que apresentam os sufixos **E_C** ou **E_E** no seu nome. Essas imagens são do conjunto fornecido pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, as que já sofreram uma manipulação, sendo-lhes retiradas as marcas dos pontos cardeais. A manipulação utilizada, tanto quanto é possível saber consistiu na rotação e redimensionamento da imagem. A partir de certa data, algures entre o ano 1999, todas as imagens fornecidas têm as marcas dos pontos cardeais. O conjunto de imagens manipuladas

têm maior dimensão, em relação às que estão no seu estado original. A dimensão de imagens manipuladas é na ordem dos 6,8MB, enquanto as imagens com marcas dos pontos cardeais são na ordem dos 5,7MB. A exceção à regra é a imagem **k1v_09_11_01_10h_25**, com a dimensão de 3,9MB, que também apresenta um número de regiões *wateshed* na mesma ordem das imagens manipuladas (cerca de 90000 regiões *watershed*).

Daqui se pode concluir que a manipulação de imagens, seja ela realizada por esta aplicação ou pelo Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, altera as características das imagens, de modo a que o resultado da segmentação seja sujeito à sobre segmentação. A exceção vista anteriormente, para a imagem **k1v_09_11_01_10h_25**, poderá ser justificada pela menor qualidade da imagem.

6. Conclusões

De uma maneira geral o objectivo do desenvolvimento da aplicação automática de identificação e caracterização de zonas de actividade em imagens solares foi conseguido. Há imagens em que o resultado obtido é bastante satisfatório; no entanto, há outras em que a diferença para o número de manchas solares espectáveis de identificar é muito elevada. Mas, como foi visto para duas das imagens com piores resultados, há alguma justificação para que os resultados sejam insatisfatórios. A qualidade das imagens é então um factor importante no resultado final da aplicação. Os resultados obtidos vão de encontro às expectativas que um utilizador leigo possa ter. Para as expectativas de um utilizador com sensibilidade a aplicação provavelmente necessita de melhorias, tendo em conta a diferença verificada entre os resultados da classificação automática e da classificação manual de um utilizador com sensibilidade no assunto. Há necessidade de uma maior cooperação com especialistas da área da astronomia de modo a aproximar os resultados obtidos pelo *software* às expectativas de um utilizador especialista.

Tendo em conta os resultados obtidos, seria necessário validar a utilização da transformada de *watershed*, fazendo a classificação utilizando todas as *labels* que a transformada encontra. Isto porque, além dos métodos aplicados para reduzir a sobre segmentação, é notório o peso computacional que a fase da classificação tem no conjunto da aplicação.

Outro dos problemas encontrados neste trabalho foi o processo de segmentação da imagem. Em trabalhos futuros poderá ser interessante aprofundar mais a transformada de *watershed* e, por exemplo, desenvolver um algoritmo de *watershed* específico para este tipo de aplicações. Um processo identificado na pesquisa realizada [30], que elevaria o desenvolvimento desta aplicação a outro nível, é o desenvolvimento de *hardware* específico para a *watershed*, e/ou outras funções realizadas nesta aplicação, para acelerar o seu desempenho em rapidez de cálculo.

Uma sugestão para futuro trabalho passa também por se poder utilizar um equipamento com maior capacidade de processamento e memória. Nesse campo, a Universidade de Coimbra, através do Laboratório de Computação Avançada, do Departamento de Física, poderá facilitar a utilização do super computador que desenvolveu no ano de 2006, o Milipeia. Este equipamento tem disponíveis mais de 520 processadores e mais de 1 milhão de MB de memória [42]. Desta forma, o processo de caracterização das imagens solares, já recolhidas, iria realizar-se mais rapidamente.

Outra forma de acelerar a classificação de imagens poderá ser conseguida através de uma utilização da funcionalidade do MATLAB 7.6. No caso de se conseguir dividir o algoritmo em tarefas independentes há a possibilidade de fazer correr a aplicação em modo paralelo e dessa forma utilizar

mais que um processador [43]. Essa possibilidade pode ser útil para aprofundar a segmentação de imagem utilizando algoritmos de segmentação *watershed* mais complexos [30] e que necessitam de computação paralela.

Poderá ter algum interesse projectar a importância desta aplicação para além do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra. O MATLAB disponibiliza a ferramenta *MATLAB Server*, que permite executar a aplicação remotamente, sem necessidade de possuir o MATLAB instalado na máquina remota. A interface disponibilizada poderá ser uma página HTML, onde seria possibilitado o carregamento de imagens para obtenção de resultados segundo esta aplicação apresentada. O formato de saída poderia também ser em HTML, onde seriam carregadas as imagens, actualmente geradas em formato JPEG, e o ficheiro de texto.

A aplicação, neste momento, faz análise a um conjunto de características das manchas solares. No entanto, poderá ser encontrado outro conjunto de características de interesse para analisar. Por exemplo, a variação de intensidade luminosa dentro da própria mancha solar. Outro campo de interesse será a análise de imagens em K3 e *H-alpha*, onde se poderão encontrar outras características e objectos solares, como por exemplo os filamentos. Essa análise poderá, também, em complemento com a análise das imagens K1, validar ou reforçar as características actualmente analisadas. Ou seja, através do estudo de vários tipos de imagens, verificar a correlação existente entre os diversos fenómenos solares, visíveis nos diferentes tipos de imagens. No caso de correlação, poder-se-ão analisar duas ou mais imagens em simultâneo para reforçar uma ou outra característica dos objectos solares. Outra possibilidade passa por validar os resultados entre imagens de datas antecedentes e precedentes.

Face ao trabalho desenvolvido, e apesar dos resultados não serem perfeitos, o grau de satisfação é elevado. O trabalho conjunto entre as áreas do processamento digital de imagem e da astronomia possibilitou a construção de uma ferramenta de *software* útil para ambas as áreas. Deste modo, o objectivo do trabalho foi alcançado com sucesso satisfatório.

7. Referências Bibliograficas

- [1] – European Space Agency. *SOHO*. Acedido a 11 de Novembro de 2007 em: <http://soho.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=14>.
- [2] - Dorotovič I., Journoud, P. *A software tool to estimate the N-S asymmetry of bright Ca II K emission structures*, 2005 (**Não Publicado**).
- [3] - Mezö G., Baranyi T., Muraközy J. and Györi, L. (2004) Statistical study of the East-West asymmetry of sunspots. Stepanov, A., Benevolenskaya, E., Kosovichev, A. (eds.) *Proc. IAV Symposium N°223 Multi-wavelength Investigations of Solar Activity*, Cambridge, Reino Unido, pp. 285-286.
- [4] - Qu, M., Shih, F., Jing, J., Wang, H. (2004) Automatic solar flare tracking using image processing techniques. *Solar Physics*. **222**: 137-149.
- [5] - Steinegger, M., Veroring, A., Messeroti, M., Otruba, W., Hanslmeier, A. (1999) Solar activity monitoring and flare alerting at Kanzelhöhe Solar Observatory. *The Dynamic Sun Astrophysics and Space Science Library*. **259**: p. 227.
- [6] - Barata, T., Alves, E., Saraiva, J., Pina, P. (2004) Automatic recognition of impact craters on surface of Mars. *Image Analysis and Recognition*. pp. 489-496.
- [7] – Zhang, B. (2005) *Automatic Thresholding*. School of Computer Science Mathematics, Victoria University of Technology. Acetatos de disciplina.
- [8] – Marques, J. (1999) *Reconhecimento de Padrões – Métodos Estatísticos e Neurais*. IST Press.
- [9] - Györi, L., Baranji, T., Tumon, M., and Pap, J. M. (2002) Comparison of image-processing methods to extract solar features. *ESA SP-508 Proc. SOHO-11*, Davos, Suíça, pp. 203-208.
- [10] - Turmon, T. (1996) Identification of solar features via Markov random field. *Proceedings of the second Meeting of International Association for Statistical Computing, IASC-2*.
- [11] - Hojjatoleslami, S., Kitfler, J. (1998) Region Growing: A new approach. *IEEE transactions on image processing*. **7**: 1079-1084.
- [12] – Curto, J. J., Blanca, M., Solé, J. G. (2003) Automatic detection of sunspots and group classification from white full disc images. *Solar Image Recognition Workshop*. Bruxelas, Bélgica.
- [13] - Zharkov, S., Zharkova, V., Ipson, S., Benkhalil, A. (2005) An automatic recognition of sunspots on Ca KI and SOHO/MDI white light solar images. *Advance in Space Research*. **36**: 1604-1612.

- [14] - Zharkov, S., Zharkova,V., Ipson, S., Benkhalil, A. (2006) Automatic recognition of sunspots on the SOHO/MDI white light solar images. *Advance in Space Research*. **37**: 1152-1162.
- [15] – Eddins, S. (2007) *Steve on Image Processing*. MATLAB Central. Acedido a 10 de Outubro de 2007 em: <http://blogs.mathworks.com/steve>.
- [16] – MathWorks - Image Processing Toolbox. *Converting Between Image Types*. Acedido a 17 de Outubro de 2007 em: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/images/fl4-34704.html>.
- [17] – Rigutti, A. (2002) *Atlas Ilustrado do Céu*, Girassol Edições.
- [18] – Suplee, C. (2004, Julho) O Sol. *National Geographic*. **4**: 3-33.
- [19] – Meadows, P. (2006) *Solar Observing*. Acedido a 30 de Outubro de 2007 em: <http://www.petermeadows.com>.
- [20] – Leithold, A. (2006) Ciclos Solares. Acedido a 29 de Novembro de 2007 em: http://br.geocities.com/ciclo_solar_py5aal/index.htm.
- [21] – Erwin, E. (2008). National Geophysical Data Center. *Sunspot Number*. Acedido a 22 de Janeiro de 2007 em: <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsunspotnumber.html>.
- [22] – Russell, R. (2005) The Sun. *Windows to the Universe*. Acedido a 30 de Outubro de 2007 em: <http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/sun/atmosphere/sunspots.html>.
- [23] – Fonseca, J. (2002) *Sistemas Sensoriais*, Acetatos de Apoio à Disciplida de Sistemas Sensoriais.
- [24] – Brown, L. (1992) A Survey of Image Registration Techniques. *ACM Computer Surveys*. **24**: 325-375.
- [25] – Wolberg, G. (1990) Digital Image Warping. *IEEE Computer Society Press*.
- [26] – Mendonça, A. (1993) Métodos de Tratamento Digital de Imagem. Aplicação no Arquivo, Processamento e Análise de Imagens de Oftamologia. *FEUP, PhD Thesis*.
- [27] – Peccini,G, Ornellas, M. (2005) Segmentação de Imagens por Watershed: Uma Implementação Utilizando a Linguagem Java. *Revista Electronica de Iniciação Científica*, n^o5.
- [28] – Digabel, H., Lantuéjoul, C. (1977) Iterative algorithms. *Chermant, J.: Actes du Second Symposium Européen d'Analyse Quantitative des Microstructures en Sciences des Matériaux, Biologie et Médecine*. Estugarda, Alemanha. pp. 85-99.

- [29] – Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R. (1998) *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. 2ª. Edição Brooks and Cole Publishing.
- [30] – Roerdink, J., Meijster, A. (2001) The Watershed Transform: Definitions, Algorithms and Parallelization Strategies. *Fundamenta Informaticae, IOS Press*. **41**: 187-228.
- [31] – Bertrand, G., Everat, J., Couprie, M. (1997) Image segmentation through operators based upon topology. *Journal of Electronic Imaging*. **6**: 395-405.
- [32] – Najman, L., Couprie, M. (2003) Watershed algorithms and contrast presentation. *Lectures Notes in Computer Sciences*. **2886**: 62-71.
- [33] – Vicent, L., Soille, P. (1991) Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions*. **13**: 583-598.
- [34] – Meyer, F., Vachier, C. (2002) Image Segmentation based on viscous. Talbott, B., Beare, R.: *Mathematical Morphology: Proceedings of the VI International Symposium – ISMM 2002*. Sydney, Austrália. pp. 69-78.
- [35] – Meyer, F. (1994) Topographic distance and watershed lines. *Signal Processing*. **38**: 113-125.
- [36] – Cromwell, B. Adaptive histogram equalization. *Image, Signal, and Text Analysis*. Acedido a 18 de Outubro de 2007 em: <http://www.cromwell-intl.com/3d/histogram/Index.html>.
- [37] – Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Computação. *Equalização*. Acedido a 18 de Outubro de 2007 em: http://www.di.ufpe.br/~if143/projetos/99_2/equali/Equalizacao.html.
- [38] – Brandt, P., Steinegger, M. (1998). On the determination of the quiet-sun center-to-limb variation in Ca II K spectroheliograms. *Solar Physics*, **177**: 287-294.
- [39] Mora, A., P. Vieira, and J. Fonseca. *MD3RI a Tool for Computer-Aided Drusens Contour Drawing*. in *Fourth IASTED International Conference on Biomedical Engineering - BIOMED2006*. Innsbruck, Austria: ACTA Press, 2006.
- [40] NASA. *Solar System*. Acedido a 20 de Julho de 2007 em: <http://science.nasa.gov/ssl/pad/solar/images/zurich.gif>.
- [41] – Recktenwald, G. (1995) Improving the Speed of MATLAB Calculations. *MATLAB Hyperlink Reference*. Acedido a 17 de Outubro de 2007 em: <http://web.cecs.pdx.edu/~germy/MATLAB/programming/performance.html>.

[42] – Oliveira, M. (2007) Milipeia. *Laboratório de Computação Avançada, Universidade de Coimbra*. Acedido a 10 de Novembro de 2007 em: <http://www.lca.uc.pt/>.

[43] – MathWorks. *MATLAB 7.6 – Product Description*. Acedido a 6 de Fevereiro de 2008 em: <http://www.mathworks.com/products/matlab/description1.html>.